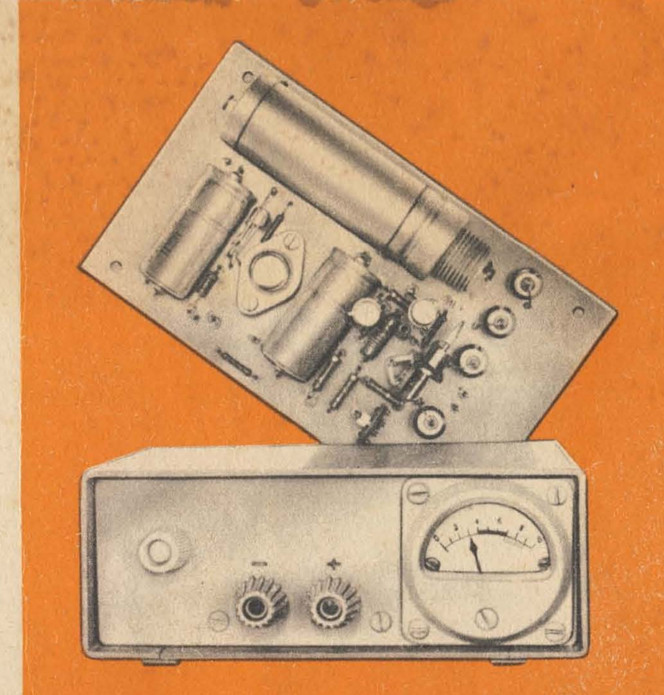
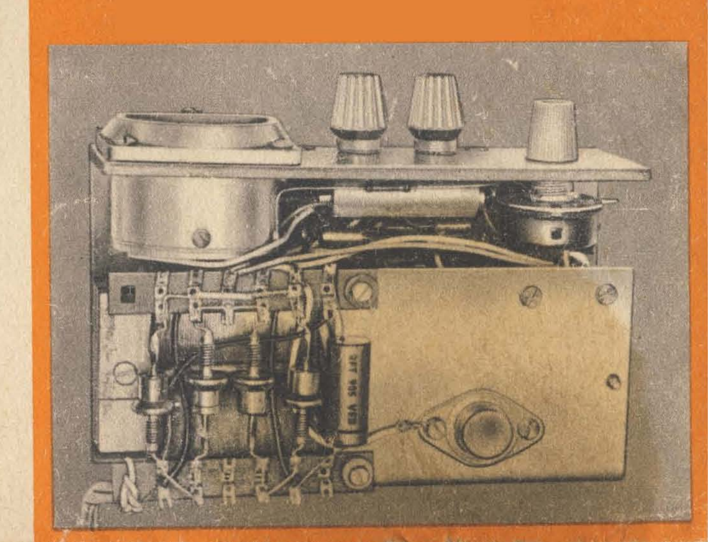




Stromversorgung für Transistorgeräte

L. Knapschinsky
K. Schlenzig



Bauplan Nr. 12
Preis: 1,–

Originalbauplan Nr. 12

Herausgeber: Dipl.-Ing. K. Schlenzig

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Als der Transistor die Röhre zu verdrängen begann, galt als einer seiner Vorteile, daß Transistorgeräte wegen der niedrigen Betriebsspannungen sehr leicht unabhängig vom Wechselstromnetz aus Batterien gespeist werden können. Bei größeren Strömen (wie sie Leistungstransistoren inzwischen gestatten) und längerer Betriebszeit solcher Geräte kehrte man jedoch in vielen Fällen wieder zur billigen Speisung aus dem Netz zurück. Dabei zeigte sich aber, daß Netzteile für Transistorschaltungen ganz anders dimensioniert werden müssen als solche für Röhren. Ursache dafür sind die infolge der kleinen Spannungen für eine bestimmte Leistung viel größeren Ströme. Während z. B. für 1 W bei 100 V nur 10 mA notwendig sind, braucht man für die gleiche Leistung (etwa gedacht für die Endstufe eines Empfängers) bei 5 V bereits 200 mA – vom Wirkungsgrad abgesehen. Je größer aber der einer Gleichrichterschaltung entnommene Strom, um so größere Siebmittel (vor allem Elektrolytkondensatoren = „Elkos") braucht man. Andernfalls ist dem über den Gleichrichter aus der Wechselspannung gewonnenen Gleichstrom ein zu großer und damit störender Brummanteil überlagert.

Ein anderes Problem besteht darin, daß Transistoren wegen der relativ kleinen zulässigen Spannungen gegen Überspannung, wie sie im Netz leicht auftreten kann, wesentlich empfindlicher sind als Röhren in entsprechend dimensionierten Schaltungen. Schließlich aber wird eine Stromversorgungsschaltung unzweckmäßig für viele Einsatzfälle, wenn schwankender Laststrom (z. B. bei Betrieb einer B-Endstufe) wegen des Innenwiderstands der Schaltung unterschiedliche Ausgangsspannung bewirkt. Diese Schwankungen können den einwandfreien Betrieb vieler Geräte in Frage stellen. Es gelang jedoch, all diese Schwierigkeiten durch den Einsatz spezieller Dioden (Z-, im allgemeinen Zenerdioden genannt) und Transistorschaltungen in der Stromversorgung ausgezeichnet zu meistern. Dadurch sind transistorstabilisierte Netzteile heute Batterien weit überlegen – bis auf die Tatsache der Netzabhängigkeit und den unvermeidlichen, wenn auch kleinen Netz-Restbrumm.

2. Forderungen an die Stromversorgung

Die speziellen Probleme der Industrie seien hier ausgeklammert. Der vorliegende Bauplan soll vielmehr dem Elektronikamateur ein Spektrum dimensionierter Schaltungen bieten, die den meisten seiner Anwendungsfälle gerecht werden, sei es beim Experimentieren oder bei der Versorgung von ihm geschaffener Geräte.

Die für den Kreis der Bauplanleser interessanten Objekte benötigen Betriebsspannungen zwischen etwa 2 und 30 V bei Strömen, die von einigen Milliampere bis über 1 A reichen. Manche Geräte sollen wahlweise aus einer Batterie (bei transportablem Betrieb) oder aus einem Netzteil (bei stationärem Betrieb) versorgt werden. Daher sind sowohl chemische Stromquellen als auch die in diesem Bauplan beschriebenen Stromversorgungseinheiten von Interesse.

Ein elektronisches Gerät funktioniert stets nur in einem gewissen Bereich der Speisespannung zufriedenstellend. Ist sie zu niedrig, so ergeben sich ungünstige Arbeitspunkte, es steht eine zu geringe Ausgangsleistung zur Verfügung, Oszillatoren können aussetzen u. a. m. Ändert die Spannungsquelle im Laufe des Betriebs ihre Eigenschaften (z. B. Altern einer Batterie), so können über den wachsenden Innenwiderstand Verkopplungen entstehen, die ebenfalls einen normalen Betrieb unmöglich machen. Liegt dieser Innenwiderstand von vornherein für die vorgesehene Verwendung zu hoch, so ist die Quelle ungeeignet. Dabei sind noch 2 Fälle zu unterscheiden, deren genaue Erläuterung im vorgegebenen Rahmen leider zu weit führen würde: Nach Bild 1 kann man eine Gleichspannungsquelle als Serienschaltung einer Batterie U_e mit einem Widerstand R_i ansehen. Daraus wird deutlich, daß bei Belastung durch einen äußeren Widerstand R_a die Klemmenspannung absinken muß, nämlich gemäß der Spannungsteilung über Innen- und Außenwiderstand. Die Belastungskennlinie eines derartigen linearen Zweipols entspricht daher Bild 2. Für $R_i = R_a$ ist die Klemmenspannung nur noch $\frac{U_e}{2}$, bei $R_a = 0$ mißt man außen gar nichts mehr, und die gesamte Batteriespannung liegt über dem Innenwiderstand, so daß sich die Spannungsquelle stark erwärmen kann. Je kleiner der Innenwiderstand, desto größer natürlich der Kurzschlußstrom; um so schneller entlädt sich die Batterie. Nun will man aber möglichst wenig Verluste über dem Innenwiderstand, und schließlich soll bei einer Änderung der Last auch die Betriebsspannung nicht wesentlich schwanken. Man muß also die Belastung den Daten der Quelle entsprechend wählen, d. h., $R_a \gg R_i$. Jedem Amateur sind die Verkopplungen bekannt, die z. B. in einem Empfänger dann entstehen, wenn die Batterie altert. Er kennt auch die Möglichkeit, sie in gewissen Grenzen zu kompensieren. Das Mittel besteht in einer Verringerung des Wechselstrom-Innenwiderstands der Quelle mit Hilfe eines Elektrolytkondensators von einigen hundert Mikrofarad. Er fängt in dem vom Verstärker erfaßten Frequenzbereich die von der Endstufe verursachten schnellen Belastungsänderungen ab, so daß zwar die Klemmenspannung der Quelle kleiner ist, aber keine unzulässig hohe Wechselspannungskomponente enthält, die den Verstärker über die Speisung der ersten Stufe bei entsprechender Phasenlage zur Selbsterregung bringt. Wie gesagt – diese Dinge können hier nur gestreift werden, und es sollte dabei eines erkannt werden: Für den einwandfreien Betrieb eines Stromversorgungsteils hat es große Bedeutung, daß sein Innenwiderstand gegenüber der vorgesehenen Belastung genügend klein ist, und zwar sowohl bezüglich einer konstanten Belastung als auch im Hinblick auf unterschiedliche Ströme, die z. B. periodisch schwanken.

Eine bei Batteriebetrieb unbekannte Gefahr bringen ungeregelte Stromversorgungsteile mit Netzspeisung: Ihre Leerlaufspannung kann bei ungünstiger Auslegung wesentlich höher sein als die Betriebsspannung, bzw. Netzspannungsspitzen können die Schaltung gefährden. Man muß also fordern, daß solche Überspannungen in ungefährlichen Grenzen gehalten werden. Umgekehrt besteht bei diesen Stromversorgungsschaltungen die Gefahr, daß sie selbst bei Überlastung ausfallen. Während einer Trockenbatterie ein momentaner Kurzschluß relativ wenig ausmacht, ist das bei einem Akkumulator schon kritischer. Einen nicht mit entsprechender Schutzschaltung versehenen Stromversorgungsteil mit Transistoren kurzzuschließen, bedeutet dagegen meist den sofortigen Ausfall mindestens eines Transistors. Es ist also zu fordern, daß solche Kurzschlüsse entweder ausgeschlossen werden oder daß man eine entsprechende Schutzschaltung einbaut.

Eine weitere Gefahr für die Schaltung besteht bei falscher Polung, und zwar je nach ihrer Auslegung für die Elkos und die Transistoren. Gegen Falschpolung helfen eindeutige Beschriftung, unverwechselbare Anschlüsse und – soweit schaltungs- und volumenmäßig vertretbar – eine Schutzdiode gemäß Bild 3. Man verwendet dafür am besten einen billigen, nichtklassi-

tizierten 1-A-Siliziumgleichrichter, wie er in diesem Bauplan auch für die Gleichrichtung selbst eingesetzt wird. Er muß aber in Sperrichtung die Batteriespannung beziehungsweise Netzspannung vertragen. In Durchlaßrichtung verbleiben über ihm etwa 0,7 bis 1 V, je nach Strom und Exemplar. Überall dort, wo diese Spannung dem Gerät nicht fehlt (Betrieb bei 6-V-Batterie dann real nur mit etwas über 5 V), wird daher zum Einbau einer solchen Diode geraten. Falsche Polung der Spannungsquelle bedeutet dann lediglich, daß das Gerät „nichts sagt"; man schützt auf diese Weise sowohl Quelle als auch Verbraucher.
Schließlich müssen noch die Gefahren genannt werden, die Netzbetrieb mit sich bringt. Als Kleinspannungen zählt man alles, was unterhalb von 42 V liegt. Aus dem 220-V-Wechselstromnetz gewinnt man diese niedrigen und damit ungefährlichen Spannungen mit Hilfe von Netztransformatoren, die nach strengen Sicherheitsregeln hergestellt werden. Netz- und Kleinspannungswicklungen sind mit einem Mehrfachen des für 220 V nötigen Aufwands isoliert. Unzulässig für Amateurbelange sind sowohl „Spartransformatoren", deren Sekundärseite nicht vom Netz getrennt ist, als auch jene Lösungen, die unter Umgehung eines Trenntransformators mit Hilfe einer RC-Kombination kleine Spannungen bei kleinen Strömen direkt aus dem Netz gewinnen.
Im allgemeinen wird der Amateur zum handelsüblichen Netztransformator greifen, den er so einbauen muß, daß die Netzseite jeder zufälligen Berührung entzogen ist. Anfänger holen sich dabei den Rat erfahrener Amateure oder Fachleute ein; vor der ersten Inbetriebnahme lasse man seinen Aufbau von ihnen „abnehmen". Der Bauplan kann auf diese Regeln nicht näher eingehen. Der Anfänger betrachte daher lediglich die Niederspannungsseite als seinen Bereich, bis er sich „netzseitig" entsprechende Kenntnisse erworben hat. Aus diesem Grund bringt der vorliegende Bauplan zunächst eine Bauanleitung mit einem Klingeltransformator, der bekanntlich bereits eine entsprechende Schutzhülle trägt. Die Netzzuleitung über eine Schnur mit Netzstecker ist vor der Klemmleiste des Trafoeingangs zuverlässig zu befestigen und zu isolieren. Die weiteren Schaltungen enthalten Netztransformatoren, die entweder handelsüblich sind und netzseitig entsprechend isoliert werden müssen (schließlich ist der ganze Netzteil isoliert zu kapseln), oder Eigenbautypen. Diese bleiben dem Erfahrenen vorbehalten; das richtige Wickeln der speziellen Übertrager schließlich überläßt man am besten einer örtlichen Trafowickelei. Die gegebenenfalls auf handelsüblichen Heizspannungsübertragern nötigen wenigen Zusatzwindungen auf der Niederspannungsseite dagegen kann man sicher ohne Demontage aufbringen.

Zusammengefaßt einige Sicherheitsforderungen an netzbetriebene Stromversorgungseinheiten:
- zuverlässiger Berührungsschutz der Netzseite,
- vorschriftsmäßiger Anschluß über Netzschnur,
- einwandfreier Trenntransformator,
- Kennzeichnung der Einheit mit dem Vermerk: „Vorsicht – Spannung! Vor Öffnen Netzstecker ziehen!"

3. Batterieeigenschaften

Wenn dieser Bauplan auch vornehmlich der Stromversorgung bei stationärem Betrieb gewidmet ist, sollen doch einige Hinweise zum Einsatz chemischer Spannungsquellen gegeben werden. Wir können uns dabei vor allem deshalb kurz fassen, weil die bekannte Broschürenreihe „Der praktische Funkamateur" mit Heft 79 inzwischen einen entsprechenden Titel von D. Franz enthält, der alle notwendigen Auskünfte über Batterien gibt.
Tabelle 1 bietet daher nur eine Zusammenfassung von den Amateur interessierenden Batterietypen, ihre z. Z. international erreichten elektrischen Daten und Hinweise für ihren zweckmäßigen Einsatz.
Der direkte Zusammenhang zwischen Größe und entnehmbarem Strom ist über die eingangs angestellten Innenwiderstandsbetrachtungen verständlich: Je kleiner eine Batterie bestimmter Technologie, um so weniger Dauerstrom kann man ihr entnehmen. Schließlich sei noch darauf verwiesen: Am rentabelsten gestaltet sich der Einsatz eines für das Gerät aus Volumengründen gewählten Batterietyps, wenn die Batterie innerhalb der garantierten Lagerzeit verbraucht wird. Während der tatsächlichen Betriebszeit ergibt sich eine um so größere reale Kapazität, je geringer der Strom ist, den man entnimmt (er soll auf jeden Fall unter den in Tabelle 1 gegebenen Werten liegen).
Schließlich noch einige Worte zu den wiederaufladbaren Spannungsquellen, den Akkumulatoren. Während bei den üblichen Trockenbatterien eine gewisse Regenerierung nur bei genauer Einhaltung relativ umständlicher Prozeduren und bestimmter Daten zu erreichen ist, sind Akkumulatoren meist für einige hundert Lade-Entlade-Zyklen bestimmt, für die relativ leicht einzuhaltende Regeln gelten. Der kleine Trockenakkumulator RZP 2 sei dabei ausgeklammert; auch er verlangt, wenn er einige (jedenfalls niemals so viele wie normale Akkumulatoren) Zyklen überleben soll, daß man sich genau an bestimmte Daten hält. Außerdem gelingt die neue Ladung nur, wenn er nicht zu weit entladen wurde und man nicht zu lange mit dem Aufladen wartet. Als Richtwerte gelten im allgemeinen etwa 20 mA Ladestrom; auf eine eventuell dennoch eintretende Bauchbildung ist zu achten. Dann ist sofort abzuschalten (keinesfalls aufstechen, wie leider manchmal empfohlen wird!).
Genaue Vorschriften gibt es auch für gasdichte Sammler auf Nickel-Kadmium-Basis: Der Ladestrom darf 1/10 des Zahlenwerts der Kapazität nicht überschreiten, d. h., ein 1-Ah-Sammler ist nur mit 0,1 A zu laden. Offene Blei- und NK-Sammler sind höchstens für die stationäre Stromversorgung von Interesse, wenn sich kein Lichtnetz in der Nähe befindet. Solche Bleitypen darf man mit höheren Strömen laden, solange noch keine Gasbildung eintritt. Auch bezüglich ihrer Wartung sei auf die Broschüre von D. Franz verwiesen. Auf keinen Fall offene Blei- und NK-Sammler in demselben Raum laden oder warten!
Klammert man die höhere Spannung unmittelbar nach dem Laden aus, so haben Bleisammler bekanntlich eine über den größten Teil ihrer Entladezeit relativ konstante Klemmenspannung bei niedrigem Innenwiderstand. Sie kommen also stabilisierten Netzgeräten schon recht nahe. In manchen transportablen Geräten mit sparsamem Schaltungsaufwand, bei denen wenig gegen den Einfluß unterschiedlicher Betriebsspannung getan werden kann, setzt man daher gern die genannten „Trocken"-Akkus vom Typ RZP 2 ein. Trockenelemente und Nickel-Kadmium-Sammler dagegen weisen eine stärker alterungs- bzw. ladezustandsabhängige Kennlinie auf. Ein für 6 V projektiertes Gerät kann deshalb, mit ihnen betrieben, am Ende des Zyklus nur noch auf 4 oder gar 3 V zurückgreifen – vorausgesetzt, daß dann nicht schon die weiter vorn genannten Verkopplungseffekte den Betrieb unmöglich machen. Wird daher mit Hilfe eines einstellbaren Labornetzgeräts eine dafür vorgesehene Schaltung entwickelt, so sollte man stets auch untersuchen, wie sich diese bei Erreichen der Grenzspannung verhält. Bild 4 faßt typische Kennlinien der genannten Stromquellen zusammen. Im übrigen müssen Akkumulatoren im Interesse langer Lebensdauer sofort abgeschaltet werden, wenn sie eine bestimmte zugelassene untere Grenzspannung erreicht haben.

4. Gleichspannung aus dem Wechselstromnetz

Die folgende Übersicht enthält keine Einzelheiten zur Dimensionierung der einzelnen Schaltungsteile, da auch das eine Platzfrage ist. Die Ausführungen erläutern jedoch den im Bauplan behandelten Gesamtkomplex. Moderne Stromversorgungsgeräte sind ebenso „intelligenzintensiv" wie manch anderer Zweig der Schaltungstechnik, und es ergeben sich entsprechend umfangreiche Berechnungen der Teile, deren Zusammenwirken schließlich ein Stromversorgungsteil oder -gerät mit den jeweils geforderten Eigenschaften bildet. In den Stromversorgungslabors der Großbetriebe sind zahlreiche Spezialisten damit beschäftigt, optimale Schaltungen zu entwickeln. Der Amateur profitiert von ihrer Arbeit, und die in diesem Bauplan vorgestellten Baugruppen stellen zum Teil auf Amateurmittel zugeschnittene Nachbauten bekannter Vorbilder dar.
Solange man keine besonderen Forderungen hinsichtlich Spannungskonstanz gegenüber Netzspannungs- oder Lastschwankungen erhebt, besteht eine vom Wechselstromnetz gespeiste Gleichstromversorgung aus den in Bild 5 zusammengefaßten Teilen: Ein Trenntransformator mit entsprechender Untersetzung stellt die gewünschte Niederspannung zur Verfügung. Sie wird hinter dem Gleichrichter zu einem Gemisch aus Wechsel- und Gleichspannung, d. h. zu einer periodisch pulsierenden Gleichspannung. Elektrostatische und (falls nötig) elektromagnetische Speicherelemente stellen daraus eine Gleichspannung her, die nur noch einen nicht mehr störenden Brummanteil enthält. Diese Speicherelemente sind Kondensatoren und Drosseln.

Drosseln setzt der Amateur wegen ihres Platzbedarfs nur ungern ein; auch die Industrie meidet sie oft wegen der zusätzlichen, störenden magnetischen Streufelder.
Der am ersten Kondensator hinter dem Gleichrichter, am sogenannten Ladekondensator, verbleibende Brummanteil entspricht etwa der in Bild 6 angegebenen Faustformel. Bei höheren Ansprüchen vermag die Siebschaltung nach Bild 7 diesen Wert weiter zu vermindern (Formel siehe dort). Kehren wir noch einmal zum Transformator zurück. Sein grundsätzlicher Aufbau dürfte bekannt sein: Das magnetische Wechselfeld der Primärspule erzeugt in der Sekundärspule eine hauptsächlich vom Windungsverhältnis und der Höhe der Primärspannung (in diesem Fall 220 V) abhängige Spannung. Der entnehmbare Strom hängt u. a. von Drahtdicke, Eisenquerschnitt und Oberfläche des Transformators ab sowie von der sich einstellenden zulässigen Übertemperatur (bedingt durch die Verluste in Kupfer und Eisen). Man ordnet daher jeder Transformatorgröße eine bestimmte zulässige Leistung zu. Dei in Bastlerkreisen weitverbreitete M-Schnitt hat etwa folgende Werte:

M42	3 VA	M65	25 VA	M85	70 VA
M55	12 VA	M74	50 VA	M102a	120 VA
				M102b	165 VA

Sie sind allerdings noch von bestimmten Voraussetzungen abhängig; die Angabe VA besagt, daß es sich um das rein zahlenmäßige Produkt von Spannung und Strom ohne Berücksichtigung einer Phasenverschiebung handelt, d. h. um eine Scheinleistung (die tatsächlich entnehmbare Wirkleistung ist kleiner).
Diese Informationen mögen genügen. Im allgemeinen tragen handelsübliche Transformatoren entsprechende Daten, und die Angaben für spezielle Exemplare im Bauplan nehmen auf diese Tatsache Rücksicht. Da für unsere Fälle stets eine möglichst gut geglättete Gleichspannung gewünscht wird, wollen wir Gleichrichter und Ladekondensator im Zusammenhang betrachten. Es leuchtet ein, daß ein geladener Kondensator nur dann weiter geladen werden kann, wenn die Ladespannung seine augenblickliche Spannung übersteigt. Jede Kombination Gleichrichter–Kondensator–Verbraucher wird daher zwei charakteristische Ströme aufweisen: einen kontinuierlichen, nur wenig „welligen" Strom durch den Verbraucher (die Welligkeit ist um so kleiner, je mehr Ladung der Kondensator gespeichert hat, d. h., je weniger seine Spannung in dieser Phase abnimmt) sowie einen periodisch unterbrochenen und daher im Scheitelpunkt den Verbraucherstrom weit übertreffenden Ladestrom, den der Gleichrichter innerhalb der Zeitspanne in den Kondensator liefert, in der der Augenblickswert der Wechselspannung größer ist als die Kondensatorspannung. Bild 8 gibt dazu einen qualitativen Überblick.
In dieser zunächst betrachteten Einweggleichrichterschaltung erkennt man zwei für den Gleichrichter wichtige Dinge:

- Der Gleichrichter wird in der Sperrphase jeweils kurzzeitig mit der doppelten Scheitelspannung belastet, für 10 V Sinusspannung also mit etwa 28 V! Nach dieser Rechnung ist daher der Gleichrichter auszuwählen, abgesehen von der vorausgegangenen Strombetrachtung. Es muß in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß für die Ermittlung des periodischen Spitzenstroms durch den Gleichrichter in Abhängigkeit von Ladekondensator und Lastwiderstand Kurvenscharen existieren, die es dem Entwickler erlauben, für jeden Fall den geeigneten Gleichrichtertyp auszuwählen.
- Selbst bei richtiger Dimensionierung bezüglich dieses Spitzenstroms, der den Verbraucherstrom erheblich übertrifft (je nach Auslegung der Schaltung etwa 4- bis 10fach als Richtwert), kann der Gleichrichter im Einschaltaugenblick auf Grund des hohen Einschaltstromstoßes zerstört werden. Das geschieht, wenn der Strom bei noch leerem Kondensator nicht irgendwie begrenzt wird. Aus diesem Grund muß man, wenn nicht schon der gesamte an den Sekundärklemmen wirksame Innenwiderstand des Transformators eine ausreichende Größe hat, in Serie zum Gleichrichter einen Widerstand schalten, der zusammen mit dem Trafoinnenwiderstand und dem Durchlaßwiderstand des Gleichrichters den Strom im Einschaltmoment auf den zulässigen Einschaltspitzenstrom begrenzt (Schutzwiderstand plus Innenwiderstand gleich oder größer als der Quotient aus Trafoscheitelspannung und zulässigem Einschaltspitzenstrom des Gleichrichters, der für den SY 100 z. B. 15 A beträgt!). Schließlich darf dem Elko, damit er sich nicht unzulässig erwärmt, nur ein begrenzter Brummstrom zugemutet werden, der also über die Formel in Bild 6 den maximal entnehmbaren Strom festlegt. Daher in dimensionierten Schaltungen aus der Literatur nicht den Ladekondensator verkleinern!

Man erkennt jedenfalls aus diesen Betrachtungen, daß auch die richtige Dimensionierung einer „harmlos" aussehenden Gleichrichterschaltung nicht ganz einfach ist. Man halte sich daher bei vorgegebenen Schaltungen möglichst an die angegebenen Werte und variiere nicht ohne weiteres!
Die im Bauplan vorgestellten Geräte benutzen ausnahmslos die Brücken- oder Graetz-Gleichrichterschaltung. Jeder ihrer 4 Gleichrichter wird nur mit der einfachen Scheitelspannung beansprucht; auch die Strombelastung ist nur halb so groß wie beim Einweggleichrichter. Schließlich beträgt die niedrigste Frequenzkomponente der Brummspannung etwa 100 Hz, liegt also doppelt so hoch wie die Netzfrequenz und läßt sich daher mit kleinerem Siebaufwand unterdrücken.

5. Stabilisieren – Einstellen – Regeln – Schützen

Aus Bild 6 ließ sich bereits erkennen, daß die mit einer solchen Gleichrichterschaltung gewonnene Gleichspannung stark vom entnommenen Strom abhängt. Das ist für viele Zwecke unerwünscht oder unzulässig. Dies und die Abhängigkeit von der Eingangsspannung wird durch eine Maßnahme beseitigt (genauer: reduziert), die man Stabilisierung nennt. Man nutzt dazu die Eigenart bestimmter Bauelemente, daß in einem gewissen Bereich des sie durchfließenden Stromes die an ihnen entstehende Spannung nahezu konstantbleibt. Über eine solche Kennlinie verfügen sowohl der Glimmstabilisator als auch die Zenerdiode; allerdings basiert dies bei ihnen auf unterschiedlichen physikalischen Effekten. Beide aber werden in der Elektronik zur Stabilisierung von Spannungen herangezogen: für höhere Spannungen der Glimmstabilisator, für niedrige vorwiegend die Z-Diode (nur sie interessiert uns in diesem Bauplan). In Abschnitt 6.1. wird eine derart stabilisierte Stromversorgungseinheit beschrieben. (Wie sich später zeigt, dient die Z-Diode auch mittelbar als feste Bezugsspannungsquelle transistorbestückter Netzteile.) Selbstverständlich kann eine solche Stabilisierung nur innerhalb vorgegebener Grenzen funktionieren: Man benötigt eine Mindesteingangsspannung und darf eine Höchstspannung ebensowenig überschreiten wie einen Höchstverbraucherstrom.
Nehmen wir nun zunächst den dritten Begriff aus der Überschrift: Regeln. Bereits das Wort wirft eine Problematik auf; man denke nur an den Mißgriff bei der Bezeichnung „Regelwiderstand". Exakt handelt es sich um einen Stellwiderstand (oder um ein Stellpotentiometer), denn mit ihm wird von Hand ein gewünschtes Potential eingestellt. Der Begriff „Regeln" dagegen steht im Zusammenhang mit Abläufen in einem geschlossenen System, einem Regelkreis, in dem allgemein ein Energie- oder Massefluß entgegen allen äußeren und inneren Störgrößen auf einer Sollhöhe gehalten werden soll, was mit Hilfe bestimmter Elemente des Regelkreises geschieht (Bild 9).
In unserem Fall wird die Ausgangsspannung, die konstantgehalten werden soll, mit einer Sollspannung (meist durch Z-Diode bereitgestellt) verglichen. Bei Abweichungen greift der Regler (meist ein Verstärkertransistor) in die Regelstrecke (ein oder mehrere Transistoren im Zug des Stromflusses, dann Serienregler, oder parallel zum Ausgang, dann Parallelregler) ein und korrigiert entsprechend.
Solange sich das System innerhalb des Regelbereichs befindet, merkt man von diesem Wirkungsablauf praktisch nichts, und je nach Aufwand bleibt eben die Ausgangsspannung weitgehend unabhängig von Last und Eingangsspannung (außerdem auch von der Temperatur), bzw. sie ändert sich nur sehr viel geringer als ohne Regelung. Je nach Dimensionierung sind dabei sogar negative Innenwiderstände möglich (wenn auch nicht erwünscht), d. h. die Spannung steigt bei Belastung!
Durch einen entsprechenden Eingriff in das System läßt sich der Gleichgewichtszustand verschieben. Man kann also von außen eine andere – dann wieder konstantgehaltene – Ausgangsspannung einstellen. Das geschieht ebenfalls in von der Schaltung festgelegten Grenzen, z. B. im Bereich von 6 bis 12 V. Man „regelt" also nicht zwischen 6 und 12 V, sondern man „stellt ein"! Der Regelvorgang dagegen spielt sich laufend im System ab, und durch ihn bleibt die eingestellte Spannung konstant. Soviel zum Unterschied zwischen diesen Begriffen.
Stromversorgungseinheiten sind geeignet für Einsatzgebiete größerer Ströme und Spannungen,

die, lägen sie gleichzeitig in voller Höhe am Transistor, ihn überlasten und schnell zerstören würden. Beispiel: Man kann mit einem geeigneten Transistor im Längszweig durchaus 1 A aus der Einheit entnehmen und für diesen Strom noch die Ausgangsspannung von z. B. 12 V konstanthalten. Schließt man aber den Ausgang kurz, so stehen diese 12 V zusätzlich über dem Transistor, der für seine Regelfunktion (mit Rücksicht auf die möglichen Netzunterspannungen, auf den Restbrumm der Gleichrichterstrecke und seines eigenen steuerbaren Bereichs) bereits etwa 2 bis 3 V Kollektor-Emitter-Spannung benötigt. Bei Kurzschluß müßte er also z. B. 15 W aushalten. Dabei bleibt es aber meist nicht. Bei fehlender Ausgangsspannung reagiert der Verstärkertransistor mit weiterem „Aufreißen" des Längstransistors, und schließlich hängt das Transistorschicksal dann nur noch von seiner Belastbarkeit und vom Innenwiderstand der Gleichrichterschaltung plus Trafo ab. Das heißt, die Eingangsspannung muß genügend weit zusammenbrechen, damit der Transistor – entsprechende Kühlfläche vorausgesetzt – gemäß seinen Daten nicht überlastet wird. Größere Innenwiderstände bedeuten aber andererseits wieder schlechtes Regelverhalten. Man braucht also andere Lösungen, wenn es darauf ankommt, alle Möglichkeiten einer Schaltung auszunutzen. In Fällen, bei denen Kurzschlüsse nicht ausgeschlossen sind, verwendet man Schutzschaltungen, die schneller ansprechen als der Transistor. Normale Schmelzsicherungen haben im allgemeinen nur dort Sinn, wo erst durch längeren Kurzschluß ein sonst ausreichend dimensionierter Transistor den „Wärmetod sterben" würde. Schutzschaltungen erfordern einen gewissen Aufwand; daher schlägt dieser Bauplan nur eine Variante vor, die man bei Bedarf einsetzen kann.

6. Dimensionierte Netzteile für verschiedene Zwecke

In den folgenden Abschnitten werden einige Stromversorgungseinheiten vorgestellt, die einen großen Teil der Wünsche des Durchschnittsbastlers bezüglich Speisung elektronischer Schaltungen befriedigen dürften.

6.1. Mit Z-Dioden stabilisierter Kleinnetzteil für Taschenempfänger

Diese Lösung wird aus Platzgründen nur angedeutet.

Schaltungsbeschreibung

Bei der Dimensionierung der Schaltung nach Bild 10 ist vor allem darauf zu achten, daß die Referenzdiode (d. h. die Z-Diode) nicht überlastet wird. Die maximale Verlustleistung der SZ 506 sowie der anderen Leistungstypen beträgt 8 W. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, daß die Diode auf einer 100 mm × 100 mm × 3 mm großen Kühlfläche montiert wird. Ohne Kühlung können die Dioden mit etwa 1 W belastet werden.

Der Widerstand R_V begrenzt den durch die Z-Dioden fließenden Strom, falls das Netzgerät nicht belastet wird, und ist neben der Diode für die Stabilität der Ausgangsspannung verantwortlich.

Die Bedingungen für diesen Widerstand sind gegeben durch

$$R_{v\,min} \geq \frac{U_{e\,max} - U_z}{\frac{P_{v\,max}}{U_z} + I_{L\,min}} \quad \text{und} \quad R_{v\,max} \leq \frac{U_{e\,min} - U_z}{I_{z\,min} + I_{L\,max}}$$

Dabei bedeuten $R_{v\,min}$ und $R_{v\,max}$ die Widerstandwerte, die nicht über- oder unterschritten werden dürfen; $U_{e\,max}$ und $U_{e\,min}$ die Gleichspannungen, die an den Punkten a und b auftreten.

Dabei sind Netzspannungsschwankungen von + 10 % und – 20 % einzurechnen. U_z ist die Spannung der Z-Diode, $P_{v\,max}$ zulässige Verlustleistung der Z-Diode in W, I_{zmin} der minimale Diodenstrom, $I_{L\,min}$ und $I_{L\,max}$ sind die durch die Last bedingten Ströme. I_{zmin} beträgt etwa

10 mA; bei einem niedrigeren Wert ist die einwandfreie Funktion der Stabilisierungsdiode nicht mehr gewährleistet. Daß der genaue Wert der Ausgangsspannung noch vom Z-Diodenstrom und von der Temperatur abhängt, ist in diesem Zusammenhang kaum von Interesse.

Der Netztransformator sollte, damit eine gute stabilisierende Wirkung der Schaltung erreicht wird, eine Wechselspannung abgeben, deren Effektivwert bei Vollast um den Faktor 1,2 höher liegt als die benötigte Gleichspannung. Ein Klingeltrafo mit einer Sekundärspannung von 8 V kann für ein 6-V-Netzgerät eingesetzt werden. Der Widerstand R_V wird dann nach den obengegebenen Formeln berechnet. Allerdings geht in die realen Daten auch noch der Innenwiderstand des Trafos ein, der bei dieser Ausführung relativ hoch sein kann (bis 10 Ω!).

Aufbau

Es muß auf ausreichende Kühlung der Z-Diode geachtet werden. Bei der vorgesehenen kleinen Belastung genügt eine Aluminiumplatte mit den Abmessungen 50 mm × 50 mm × 2 mm.

Das Volumen des Netzteils wird vorwiegend vom Transformator und von den beiden Elkos bestimmt. Am saubersten gelingt die Trafomontage bei Verwendung einer Preßstoffarmatur mit Lötösen oder Stiften; andernfalls muß man ihn mit Hilfe genügend langer M3-Schrauben befestigen und die Anschlußdrähte direkt in die Schaltung führen. Flache Bauform verlangt liegende Montage; die beiden Elkos sind dann, übereinander gestapelt, etwa so hoch wie der Trafo. An diesen lehnt man den oberen Elko etwas an, vorher wird der untere zum Rand der Platte geschoben. Auf diese Weise „sitzen" beide ohne zusätzliche Hilfsmittel stabil genug. Die 4 Stück 1-A-Siliziumgleichrichter der Reihe SY 100 (oder künftig SY 200), als billige Basteltypen ebenfalls erhältlich, benötigen im Unterschied zu gleich großen Germaniumtypen (GY 110) keine Kühlfläche und werden daher einfach senkrecht gestellt. Ihren jeweils oberen Anschluß fängt man am besten mit einer Stecklötöse ab. Die Z-Diode erhält die bereits erwähnte Kühlfläche, mit einem Befestigungswinkel versehen (Bestandteil der Kühlfläche), und wird mit senkrecht stehender Fläche angeschraubt. Träger des Ganzen ist eine kleine Leiterplatte.

Netzseitig hat man die eingangs gegebenen Hinweise zu beachten; das trifft übrigens auch auf den Trafo zu, der sich wegen der sehr dünnen Lagenisolation nicht ganz einfach wickeln läßt, wenn man wenig Erfahrung hat. Man kann auf einen kleinen Heiztrafo für 12,6 V (oder auf 2 Wicklungen zu je 6,3 V) ausweichen (R_V entsprechend ändern, bei 6,3-V-Wicklung auf etwa 8 V erhöhen); bei größerem Typ muß die Leiterplatte sinngemäß geändert werden.

Vor Anschluß einer Netzschnur ist der Netzteil in ein isolierendes Gehäuse (am besten aus PVC oder Hartpapier) einzubauen. (Hinweise zur Gestaltung s. auch 6.2.) Schließlich wird auf der Platte eine Sicherung angebracht, für den Fall, daß dem Trafo etwas „zustoßen" sollte.

Die Halterung gewinnt man aus den Klemmfedern eines handelsüblichen Sicherungshalters auf Hartpapierstreifen, wenn keine Elemente für gedruckte Schaltungen zur Verfügung stehen. Sie werden von der Grundplatte gelöst (Niete zerstören, Feilen oder Bohren) und mit Hilfe eines 1 mm dicken Drahtes in der Leiterplatte fixiert (anlöten!). Den Anschlußlappen kann man zur Unterstützung der Befestigung vorsichtig beschneiden, damit er in ein weiteres Loch paßt. Im übrigen genügen für das Plattenmuster größtenteils 1-mm-Löcher, nur für die Lötösen und für diese zusätzlichen Sicherungshalterlöcher muß 1,3 mm gebohrt werden.

Ein Teil dieser Hinweise gilt sinngemäß auch für die anderen Netzteile, wird dort also nicht wiederholt.

6.2. Experimentiernetzteil mit Klingeltransformator

Dies für den Anfänger geeignete Netzgerät ist in seiner endgültigen Ausführung zwischen etwa 2,4 V und 8,4 V stufenlos einstellbar, es stabilisiert diese Spannungen bis zu einer Leistung von etwa 1,2 W genügend und hält einen ausreichend kleinen Brummpegel ein. Im Muster wurde ein Klingeltrafo des Typs KT 03 vom VEB ELMET Hettstedt benutzt (Gehäusemaße etwa 62 mm × 82 mm × 40 mm), der die Nennspannungen 3 V, 5 V und 8 V zur Verfügung stellt. Um die ent-

scheidenden Verbesserungen zu verdeutlichen, die eine Transistorregelschaltung gegenüber einer üblichen Gleichrichtung bringt, wird diese Schaltung stufenweise beschrieben und untersucht. Für das endgültige Gerät folgen dann Aufbauhinweise.

6.2.1. Verhalten der ungeregelten Spannungsquelle

Die in Bild 11 dargestellte Schaltung liefert 3 verschiedene Leerlaufspannungen – je nachdem, welche Trafoausgänge man mit der Gleichrichterschaltung verbindet. Bei Stromentnahme bleibt die Spannung aber aus bereits unter 4. genannten Gründen nicht konstant; außerdem ist sie um so stärker „verbrummt", je größer der Strom wird. Die Gleichspannung dagegen sinkt immer weiter ab. Es leuchtet ein, daß es für eine solche Quelle nur beschränkte Einsatzmöglichkeiten gibt. Im allgemeinen enthalten aber viele Transistorgeräte als Maßnahme gegen alternde Batterien für die brummempfindlichen Vorstufen Entkopplungsglieder, so daß man schon mit einem derartig einfachen Netzgerät einige Bastelschaltungen speisen kann. Bei Kurzschluß fließen in den 3 Anschlußfällen bei dem genannten Trafotyp mit seinem relativ hohen Innenwiderstand zwischen 1 A und 1,5 A. Bild 12, das Ausgangsspannung und effektive Brummspannung in Abhängigkeit vom entnommenen Strom zeigt, gestattet eine Abschätzung des sinnvollen Einsatzbereichs. Die Brummspannungskurve gilt, da vom Strom abhängig, für alle 3 Spannungsfälle. Die Leerlaufausgangsspannungen liegen etwas höher, als die Rechnung (Effektivwert $\cdot \sqrt{2}$) vermuten läßt, da die Leerlauftrafospannung über der Nennspannung liegt.

Abgesehen von Netzspannungsschwankungen lassen sich die entnommenen Spannungen des Gleichrichterteils nicht beeinflussen, sie sind nur vom entnommenen Strom abhängig. Es empfiehlt sich daher, bei den Versuchen Strom oder Spannung zu kontrollieren, damit man stets weiß, welche Verhältnisse gerade in der gespeisten Schaltung herrschen.

6.2.2. Einstellbare Ausgangsspannung geringerer Lastabhängigkeit

2 Transistoren (die wiederum billige Basteltypen sein können), 3 bzw. 4 Widerstände und 1 Bezugsspannungsquelle genügen bereits, um das Verhalten unserer Quelle entscheidend zu verändern und zu verbessern. Schon in Abschnitt 5. wurde kurz erläutert, worum es sich handelt: Die Ausgangsspannung wird ständig mit einer Bezugsspannung verglichen, und der dafür „zuständige" Transistor greift entsprechend in einen zweiten ein, der als veränderbarer Widerstand im Stromweg liegt. Entnimmt man mehr Strom, so öffnet dieser Transistor weiter, bei geringerem Strom schließt ihn der Verstärkertransistor wieder so weit, bis an der Meßstelle nahezu der alte Zustand registriert wird. Dieser Zustand wiederum läßt sich von außen auf einen gewünschten Wert einstellen. Das geschieht mit Hilfe des Stellwiderstands zwischen Ausgangsspannung (negativer Pol) und Basis des Verstärkertransistors, dessen Emitter an der Bezugsspannungsquelle liegt. Daraus folgt, daß der Verstärkertransistor nur so lange beeinflußt werden kann, wie seine Basis-Emitter-Strecke Steuerstrom richtiger Polung erhält. Die Basis des Verstärkertransistors muß daher, weil dieser ein pnp-Typ ist, gegenüber dem Emitterpotential negativ bleiben.

Damit kann die einstellbare Ausgangsspannung nie kleiner werden als die Bezugsspannung, wenn man nicht mit erhöhtem Schaltungsaufwand und 2 getrennten Trafowicklungen eine andere Lösung aufbaut. Für Experimente genügt es aber meist, Batteriespannungen ab etwa 2 V nachzubilden; der Fall „0 V" dürfte im allgemeinen uninteressant sein. Die Bezugsspannung hat also in dieser Größenordnung zu liegen. Sie muß aber nicht nur tatsächlich über längere Zeit konstantbleiben, sondern darf auch keinen Brumm enthalten. Im allgemeinen setzt man in solchen Schaltungen Z-Dioden als Spannungsnormal ein (in den weiter unten geschilderten Netzteilen geschieht das auch). Allerdings endet die Reihe aus physikalischen Gründen nach unten hin schon bei etwa 5 V; außerdem gibt es noch einen in Durchlaßrichtung arbeitenden Referenzdiodentyp von etwa 1 V (prinzipiell ist jede Si-Diode, wenn man sie in Durchlaßrichtung betreibt, mehr oder weniger gut geeignet) – für den Bastler jedoch meist ein Beschaffungs- und Preisproblem. Im vorliegenden Fall wird daher der etwas ungewöhnliche Weg beschritten, für diesen Zweck einen kleinen RZP-2-Bleiakku (den bekannten Taschenlampentyp) einzusetzen. Er läßt sich praktisch so lange benutzen, bis er austrocknet, und das kann länger als ein Jahr dauern.

Während des Betriebs der Schaltung wird er ständig vom Emitterstrom des Verstärkertransistors gepuffert. Da die Basis-Emitter-Schwellspannung dieses Germaniumtransistors bei etwa 0,2 V liegt, kann die Ausgangsspannung nicht kleiner werden als die Summe aus dieser Schwellspannung und der Akkuspannung. Der Einstellwiderstand für die Wahl der Ausgangsspannung bringt bei seinem linken Anschlag die Basis des Verstärkertransistors unmittelbar an die Ausgangsklemme; dort läßt sich also die Spannung nicht niedriger als die eben genannte einstellen. Nach oben hin andererseits muß der Teilerquerstrom im konstanten unteren Widerstand stets noch die Summe von Schwell- und Akkuspannung gewährleisten. Wird daher der Stellwiderstandswert zu groß, dann sperrt der Verstärker, da seine Basis dann schließlich positiver ist als der Emitter; z. B. Teilerstrom nur 5 mA bedeutet Basis-Emitter-Spannung von (– 5 · 220 = – 1100 mV) – (– 0,2 V – 2 V) = + 1,1 V! Man überzeuge sich von der Richtigkeit dieser Behauptung durch einen Blick auf die Schaltung dieses einfachen geregelten, einstellbaren Stromversorgungsgerätes (Bild 13). Innerhalb des Arbeitsbereichs der Schaltung nimmt der Verstärkertransistor einen Teil des Stromes auf, der durch den Widerstand von 220 Ω (li. oben) fließt; der andere Teil dient der Beeinflussung des Längstransistors. Wächst jetzt z. B. die Ausgangsspannung (z. B. weil man einen kleineren Strom entnimmt), so öffnet das steigende Basispotential den Verstärkertransistor etwas weiter, d. h., es fließt mehr Kollektorstrom, so daß dieser einen größeren Teil des Stromes durch den 220-Ω-Widerstand aufnimmt. Für die Basis des Längstransistors bleibt weniger, so daß er sich etwas weiter schließt. Ergebnis: Die Ausgangsspannung geht im gewünschten Sinn in Richtung des alten Wertes zurück. Je kleiner nun dieser Widerstand, um so größer könnte prinzipiell der Ausgangsstrom maximal werden. Andererseits verringert aber ein zu kleiner Widerstand die Wirkung des Verstärkertransistors zu sehr, der dann einen höheren Steuerstrom braucht und damit eine größere Restabweichung zwischen Soll- und Ist-Spannung am Ausgang.

Günstigere Verhältnisse erreicht man mit einem zweiten Transistor im Längszweig, denn der Steuerstrom der auf diese Weise entstandenen **Kaskade**schaltung für einen bestimmten Ausgangsstrom ist etwa um den Kehrwert der Stromverstärkung des zusätzlichen Transistors geringer. Dadurch lassen sich für ein Anfängergerät recht gute Werte erzielen, wie ein Vergleich der Eigenschaften dieser Schaltung (Bild 14 zeigt das vollständige Gerät) mit denen der ersten zeigt (s. Bild 15). Bild 15 enthält 4 Kurven: je 2 für die Stromabhängigkeit der Ausgangsspannung und für den Restbrumm. Besonders die letzte Erscheinung (man erinnere sich der beträchtlichen Werte der einfachen Gleichrichterschaltung!) verdient Beachtung. Selbstverständlich wirkt ja innerhalb des Regelbereichs der Schaltung auch eine periodische Abweichung von der Sollspannung, wie oben beschrieben, d. h., die Schaltung versucht, sie auszuregeln. Das gelingt aber nur so lange, wie die Welligkeit am Ladekondensator (vielleicht zufällig noch mit Netzunterspannung zusammenwirkend) einen bestimmten Grenzwert bezüglich ihrer Spitzen in positiver Richtung nicht überschreitet. Der Längstransistor braucht zum einwandfreien Betrieb eine Mindestspannung, um die (vermehrt um die größte denkbare Brummspannung am Ladekondensator sowie einen Sicherheitszuschlag von 10 % gegen Netzunterspannung) die Spannung am Ladekondensator größer sein muß als die größte gewünschte Ausgangsspannung. Andererseits hat der Längstransistor noch die in ihm bei kleinster Ausgangsspannung und größter Spannung am Ladekondensator sowie bei größtem Laststrom entstehende Wärmeleistung auszuhalten, abgesehen von seiner Spannungsfestigkeit und seinem höchstzulässigen Strom. Während Strom und Spannung festliegen (s. Datenblätter), kann man die Verlustleistung in gewissen Grenzen erhöhen, indem man die wärmeabführende Fläche (Kühlkörper, Kühlblech) vergrößert. Der typenabhängige Wärmewiderstand des Transistors und die zulässige Kristalltemperatur setzen dem eine obere Grenze. Über die rechnerische Behandlung dieser Fragen (auch über die Abhängigkeit von der Außentemperatur) siehe die einschlägige Literatur (vgl. unten 8.).

In der Schaltung Bild 14 fallen 2 Widerstände auf, deren Funktion noch kurz erläutert werden soll. Der Widerstand von der Basis des oberen Längstransistors nach Plus verbessert das Temperaturverhalten der Schaltung (Reststromableitung), der vom Gleichspannungseingang auf den Basisanschluß des Verstärkertransistors geführte Widerstand bildet eine gewisse Brummkompensation, die für einen Teil des Ausgangsstrombereichs eine deutliche Verbesserung brachte. Außerdem hat die Maßnahme in diesem Bereich auch eine Verbesserung der Regeleigenschaften zur Folge, wobei allerdings auch negative Ausgangswiderstände möglich sind.

Der Parallelwiderstand zum Stellwiderstand grenzt dessen Bereich so ein, daß der obengeschilderte Fall positiv werdender Basis ausgeschlossen ist. Der 100-µF-Kondensator am Ausgang schließlich brachte bei Objekten unübersichtlicher Eingangsimpedanz eine größere Sicherheit gegen Schwingneigung und eine weitere Verringerung der Ausgangsbrummspannung. Schwingneigung verschlechtert das Regelverhalten; in hartnäckigen Fällen hilft dann ein kleiner Papierkondensator von etwa 47 nF bis 0,1 µF zwischen Basis und Kollektor des Verstärkertransistors.

6.2.3. Aufbau des Geräts

Für ein Netzgerät wünscht man sich – im Unterschied zu den beschriebenen Netzteilen, die als Einbauteile anzusehen sind – ein entsprechendes Gehäuse. Dafür kann man z. B. 2 mm dickes PVC benutzen, das sich über einem von etwa 5 A durchflossenen Widerstandsdraht (Konstantan o. ä., etwa 0,5 mm Durchmesser) biegen läßt. Bild 16 eignet sich als Grundlage für den passenden Zuschnitt. Für den Innenaufbau wurde ein Einschub gewählt, der aus 3 mm dickem Hartpapier besteht (Zuschnitt s. ebenfalls Bild 16). Angesichts des Übergewichts an Teilen, die nicht speziell für gedruckte Schaltungen geschaffen wurden, fiel die Entscheidung zugunsten einer herkömmlichen Verdrahtung, von der Bild 17 und Bild 18 einen Eindruck vermitteln. Mit diesen Bildern und mit Bild 19, das noch einige mechanische Einzelheiten enthält, dürfte der Aufbau der Schaltung nach Bild 14 kein schwieriges Problem sein.

Wie erkennbar, wurde im Muster noch ein Anzeigeinstrument vom Format 48 mm × 48 mm untergebracht, an dem die eingestellte Spannung abgelesen werden kann. Es sollte also zweckmäßig einen Bereich von 10 V haben. Sein Vorwiderstand richtet sich nach dem Meßwerk. Ist kein Instrument vorhanden, so muß man einen Zeigerknopf anbringen, der mit einem beliebigen, außen angeschlossenen Voltmeter mit passendem Bereich geeicht wird. Dann fehlt allerdings die Information darüber, wann die Schaltung „außer Tritt" fällt, d. h., wann die Ausgangsspannung infolge zu hoher Belastung nicht mehr konstantbleibt.

Das Gerät ist im übrigen in der angegebenen Dimensionierung gegen einen gelegentlichen Kurzschluß vor allem infolge des relativ hohen Transformatorinnenwiderstands unempfindlich, wobei die Kühlblechgröße des 4-W-Transistors diesen auch einen längeren Kurzschluß überstehen läßt. Vorausgesetzt wird dabei eine Mindeststromverstärkung des LA 4 (bzw. eines ähnlichen 4-W-Markentransistors) von 20. Dann läßt sich als Treiber sogar ein GC 116 oder GC 121 einsetzen (ggf. mit Schutzwiderstand von etwa 47 Ω in der Kollektorleitung), allerdings wenigstens mit Kühlstern versehen, der auch für den GC 301 zu empfehlen ist. Der Verstärkertransistor muß nur bei der einfacheren Schaltung nach Bild 13 ein GC 301 mit Kühlstern sein, bei der Schaltung Bild 14 genügt ein GC 116, Stromverstärkung möglichst über 40 (oder ein entsprechender Basteltyp).

Selbstverständlich ist die Lösung nach Bild 16 bis Bild 19 nur ein Vorschlag; mit Instrument gestaltet sich der Aufbau recht eng, so daß für die kleineren Bauelemente nur eine Lötösenleiste bleibt. Das abgewinkelte Kühlblech wird getragen von 2 Bolzen aus PVC, an denen man unten die Kontaktplatte für den Akku aus kupferkaschiertem Hartpapier mit Hilfe von 2 thermisch eingedrückten 1-mm-Drahtstücken befestigt. Dadurch wird der Akku zwischen Blech und Kontaktplatte gehalten; seitliche Begrenzung erfolgt durch den 500-µF-Elko, während der 1000-µF-Typ mit einer Schelle am Kühlblech von unten festzuschrauben ist.

6.3. Mit Z-Dioden stabilisierter Netzteil mit Siebtransistor

Technische Daten

Ausgangsspannung	Festspannung 6 V
maximaler Ausgangsstrom	450 mA
Brummspannung	maximal 40 mV (s. auch Bild 20)
Stromlauf	s. Bild 21

Kurzbeschreibung

Das Gerät ist für den Betrieb von Taschen- oder Koffergeräten am Lichtnetz vorgesehen, die mit einer Gleichspannung von 6 V bei einer Leistung bis zu 2 W betrieben werden. Andere Spannungen, z. B. 5 V und 7 V, lassen sich durch Einsatz entsprechender Z-Dioden erreichen; für 9 V

Ausgangsspannung ist außerdem ein Netztransformator mit anderen Wickeldaten erforderlich. Falls der Netztransformator nach den vorliegenden Daten selbst gewickelt wird, läßt sich das ganze Gerät als kompakte kleine Stromversorgungseinheit aufbauen, die bei größeren Empfängern evtl. direkt in das Batteriefach eingeschoben werden kann. Genaue Angaben zur Anfertigung eines Gehäuses werden nicht gegeben; die Gestaltung hängt vom vorhandenen Platz und von der Lage der Anschlußelemente ab. Auf jeden Fall ist das Gerät für diese Anwendungen mit einem isolierenden Gehäuse zu versehen (Kasten aus PVC oder aus einem ähnlichen Werkstoff), die Anschlüsse für den Verbraucher sollten als unverwechselbare Steckverbindung ausgeführt sein. Für die Netzanschlußseite müssen ausreichende Vorkehrungen gegen Berührung oder Verbindung zur Niederspannungsseite getroffen werden.
Das beschriebene Netzteil ist besonders für den Betrieb des Batterietonbandgeräts „Bändi“ geeignet. Bei diesem Gerät treten bei Entladung der Batterie und der damit verbundenen Spannungsabnahme beim Antriebsmotor Drehzahländerungen auf, die sich als Tonhöheschwankungen bemerkbar machen. Durch den Betrieb mit einem stabilisierten, in diesem Fall allerdings netzgebundenen Stromversorgungsteil können diese negativen Erscheinungen vermindert werden.

Schaltungsbeschreibung

Die aus dem Netztransformator gewonnene Niederspannung wird über das Diodenquartett Gr gleichgerichtet und über eine Sieb- und Regelschaltung den Ausgangsbuchsen zugeführt. Entscheidend für die Stabilisierung sind die Z-Diode und der Leistungstransistor. Die am Ladekondensator auftretende, mit großen Wechselspannungsanteilen behaftete Spannung gelangt über den Vorwiderstand R1 an die Z-Diode D1. An dieser Diode fällt eine konstante Spannung zwischen 6,4 V und 7,3 V (Katalogangabe) ab. Die gleiche Spannung liegt auch an der Basis des Regeltransistors, dessen Kollektor an die volle Betriebsspannung angeschlossen ist. Da die Basisspannung auf einem konstanten Wert gehalten wird, erscheint diese Spannung auch annähernd zwischen Emitter und Pluspol der Schaltung. Sie verringert sich lediglich um den Betrag der Basis-Emitter-Restspannung des Transistors. Zur Verminderung der Brummspannung dient hauptsächlich der Kondensator C2. Er wirkt in Verbindung mit dem Transistor so, daß seine Kapazität am Ausgang mit einem um den Stromverstärkungsfaktor vergrößerten Wert erscheint. Zur Glättung der Ausgangsspannung und auch im Interesse einer hohen Regelgüte, d. h. eines geringen inneren Widerstands des Netzgeräts, soll ein Transistor mit hoher Stromverstärkung eingesetzt werden.
Der Kondensator C3 vermindert den dynamischen Innenwiderstand der Schaltung. Sehr schnelle Laständerungen, wie sie beim Betrieb eines Rundfunkempfängers auftreten, lassen sich damit ausgleichen.
Für den Aufbau der Schaltung ist ein Transformator mit nicht zu großem Eisenkern günstig (M42), da dann das Gerät räumlich kleingehalten werden kann. Für den Anfänger vorteilhafter ist ein isoliert gekapselter Klingeltransformator mit einer Sekundärspannung von 8 bis 9 V. Damit läßt sich zwar das Gerät nicht mehr so klein gestalten, jedoch ist dann automatisch Berührungsschutz gegeben.
Falls in bestimmten Fällen eine Stabilisierung der Ausgangsspannung nicht nötig ist, kann die Z-Diode in der Schaltung entfallen. Der Transistor dient dann nur zur Brummsiebung, d. h., es kann auf einen großen Siebmittelaufwand verzichtet werden. Um den Arbeitsbereich einstellen zu können, führt man den Basiswiderstand für den Transistor, wie in Bild 22 dargestellt, als Trimmwiderstand aus. Mit R2 kann man den durch den Transistor fließenden Maximalstrom begrenzen und erhält entsprechende Sicherheit gegen Kurzschlüsse.
Falls eine Ausgangsspannung von genau 6 V erforderlich ist (Drehzahlkonstanz von Batteriemotoren, speziell im schon erwähnten Tonbandgerät „Bändi“), sind die durch die Z-Diode gegebenen Toleranzen zu hoch. Man setzt dann in die gegebene Schaltung nach Bild 23 eine 7-V-Diode (SZ 507) ein, damit die höchste Ausgangsspannung in jedem Fall über 6 V liegt. Parallel zur Diode wird ein einstellbarer Spannungsteiler angeordnet, an dem die Basisvorspannung für den Transistor abzugreifen ist. Am Stellwiderstand R4 läßt sich der genaue Wert der Ausgangsspannung einpegeln. Wird der gesamte Spannungsteiler durch ein Potentiometer von 250 Ω ersetzt, dann können beliebige Spannungen unter 7 V an den Ausgangsklemmen abgenommen werden.

Durch Einfügen von Widerständen kleiner Werte in die Kollektorzuleitung des Transistors erreicht man Kurzschlußsicherheit (Widerstandswert aus Zweipolbetrachtung: R_a ist der Transistor, R_i der Schutzwiderstand plus übriger Netzteil-R_i. Der Transistor erhält für $R_a = R_i$ P_{max}; sie muß in zulässiger Höhe bleiben. U_e ist die Spannung der unbelasteten Gleichrichterschaltung.)
Den Aufbau der Bauelemente auf einer Leiterplatte und ihre Bestückung zeigen Bild 24 und Bild 25, nähere Hinweise dazu s. Abschn. 6.1. Das folgende Bild 26 faßt Tips für die Gestaltung der Netzanschlußseite der Baugruppen zusammen.

6.4. Einstellbarer Netzteil für Experimentierzwecke, Bereich 6 · · · 12 V

Technische Daten

Ausgangsspannung	einstellbar zwischen 6 und 12 V
maximaler Ausgangsstrom	250 mA bei 12 V, 350 mA bei 6 V Ausgangsspannung
Brummspannung	8 mV (bei 12 V/250 mA) 4 mV (bei 6 V/350 mA), vgl. dazu auch Bild 27
Stromlauf	s. Bild 28

Kurzbeschreibung

Der Netzteil ist für die in der Transistortechnik oft verwendeten Spannungen 6 V, 9 V und 12 V ausgelegt. Damit kann es als Stromversorgung der handelsüblichen Koffer- und Taschenrundfunkempfänger benutzt werden. Die maximal entnehmbare Ausgangsleistung von 3 W reicht für diese Zwecke aus. Da die Ausgangsspannung stetig einstellbar ist, lassen sich für andere Anwendungen beliebige Zwischenwerte wählen. Die hohe Stabilität der Spannung, der niedrige Innenwiderstand und die kleine Brummspannung erlauben darüber hinaus den Einsatz des Bausteins in einem Gehäuse als universelles Experimentiernetzgerät, d. h., es ersetzt vorteilhaft Trockenbatterien und Akkumulatoren bei Betrieb, bei Prüfung, bei Reparatur und bei Entwicklung von Transistorschaltungen im genannten Spannungsbereich. Die eingesetzten Bauelemente gestatten es, das Gesamtgerät mechanisch sehr klein aufzubauen. Man erhält damit eine kompakte Einheit, die auch als Stromversorgungseinschub verwendet werden kann. Den Netztransformator muß man allerdings selbst anfertigen bzw. nach den vorliegenden Unterlagen anfertigen lassen, da handelsübliche Transformatoren für diesen Zweck zu groß sind.
Das Gerät ist mit einer Sicherheitsschaltung ausgerüstet, die bei Überlastung oder Kurzschluß an den Ausgangsklemmen anspricht.

Schaltungsbeschreibung

Die Ausgangsspannung wird an dem einstellbaren Spannungsteiler R7/R8 gewählt und dann automatisch mit der stabilisierten Spannung an der Z-Diode D1 verglichen. Transistor T1 verstärkt die Differenz beider Spannungen, wie bereits weiter vorn beschrieben, und steuert den Transistor T2, der seinerseits als Stromverstärkungsstufe für den Serientransistor T3 dient. Prinzipiell arbeitet die Schaltung auch ohne den Transistor T2. Die Regelgüte hängt jedoch ab von der Höhe der Verstärkung der an der Z-Diode auftretenden Spannungsdifferenz; die Verstärkung sollte daher so hoch wie möglich gewählt werden. Bei nur 2 Transistoren müßte deshalb jeder einen Stromverstärkungswert von > 200 haben. Da solche Transistoren jedoch schwer zu beschaffen sind, wurde der 3. Transistor eingefügt. Man kommt dadurch mit kleineren Verstärkungswerten für die einzelnen Transistoren aus. Die Ausgangsspannung muß genügend weit über der Z-Diodenspannung liegen, damit die Diode über R1 noch den notwendigen Strom für einwandfreien Betrieb erhält, d. h., mit der eingesetzten Diode liegt sie bei etwa 6 V. Über den Widerstand R9 bekommt die Z-Diode den für einwandfreie Funktion notwendigen Strom. Die Kombination R2, R3 und C3 bildet für diese Schaltung eine gewisse Schwingsicherheit und verringert die Brummspannung. Als Arbeitswiderstand für T1 bezüglich der Regelung wirkt die Summe von R2 + R3. Das Netzgerät enthält eine Strombegrenzerschaltung, die bei Überlastung oder Kurzschluß am Ausgang den Serientransistor vor der Zerstörung schützt. Diese Schutzschaltung besteht aus dem Widerstand R6 und der parallelliegenden Diode D2. Diese in Durchlaßrichtung geschaltete Z-Diode vom Typ SZX 18/1 (ZA 250/1) hat eine Durchbruchspannung von etwa 0,8 V. Bei kleinen Laströmen beeinflußt sie die Funktion der Regelschaltung

nicht. Erst wenn bei größeren Strömen der Spannungsabfall an R6 den Sperrwert der Diode erreicht und übersteigt, wird diese leitend und sperrt über den Transistor T2 den Serienregler T3. Der maximale Laststrom kann also auch bei Kurzschluß an den Ausgangsklemmen einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Dabei ist zu beachten, daß fast die gesamte Ausgangsspannung an T3 liegt, d. h., der Transistor nimmt die aus dieser Spannung und dem Kurzschlußstrom resultierende Leistung auf (die im vorliegenden Falle seine maximal zulässige Verlustleistung übersteigt). Daher ist es nötig, neben einer ausreichenden Kühlfläche für T3 die Sicherung Si 2 einzusetzen. Sie soll für Nennlast ausgelegt sein (250 bis 300 mA, flink) und spricht bei längerer Überlastung oder dauerndem Kurzschluß an.
Falls die eingesetzte Z-Diode D2 nicht zur Verfügung steht, kann sie durch einen Siliziumflächengleichrichter ersetzt werden, wie im Bestückungsplan (Bild 30) bereits angedeutet. Der genaue Wert des Widerstands R6 ist dann experimentell zu ermitteln. Er beträgt im Normalfall 1 Ω und wird durch Bewickeln eines 1/4-W-Widerstandskörpers mit einem entsprechenden Widerstandsdraht hergestellt. Bei einem größeren Widerstandswert spricht die Schutzschaltung schon bei kleineren Lastströmen an und umgekehrt. Aufbauhinweise für diese Schaltung geben Bild 29 (Leiterplatte), Bild 30 (Bestückungsplan) und das Foto mit der Gesamtansicht (Bild 31). Es wurde mit Hilfe getrennt herausgeführter Anschlüsse für den Stellwiderstand wahlweise Anschluß eines Außenpotentiometers mit 470 Ω Zusatzwiderstand vorgesehen. Zu diesem Zweck die Brücken „intern" lösen und an „extern" dieses Potentiometer in Serie mit 470 Ω (nach Masse) anschließen – günstig für Verwendung als Labornetzgerät! In der Stückliste wurden für C1 und C2 die derzeit erhältlichen Typen nach TGL 10586 eingetragen (25 V sind erforderlich!). Man verfahre bei ihrem Einbau ähnlich Bild 35 b.
Für den Transformator gelten folgende Wickelangaben:

Kerngröße	M42; Dynamoblech IV ohne Luftspalt; wechselseitig geschichtet
Grundisolation	2 Lagen Lackgewebe 0,1 – Primärwickl. 4300 Wdg., 0,1-mm-CuL
Lagenisolation	nach jeder 2. Lage einmal Lackpapier 0,02
Zwischenisolation	2 Lagen Lackgewebe 0,1 – Sekundärwickl. 300 Wdg., 0,3-mm-CuL
Deckisolation	Lackgewebe 0,1, 2 Lagen

6.5. Netzteil für eine Konstantspannung 12 V

Technische Daten

Ausgangsspannung	Festwert 12 V
maximaler Ausgangsstrom	1 A
Brummspannung	1 mV (s. auch Bild 32)
Stromlauf	s. Bild 33

Kurzbeschreibung

Die Schaltung ist für eine konstante Ausgangsspannung von 12 V ausgelegt, sie darf jedoch im Gegensatz zu dem in 6.4. beschriebenen Netzteil mit höheren Strömen (bis zu 1 A) belastet werden. Daher eignet sie sich für die Stromversorgung von Geräten, die eine höhere Leistung benötigen und dabei mit einer konstanten Spannung arbeiten müssen, der eine sehr kleine Brummspannung überlagert ist. Zum Schutz gegen Überlastung und Kurzschluß wurde die Schaltung mit einer elektronischen Sicherung ausgestattet, die bei Überschreitung des maximal vorgegebenen Stromes anspricht. Als Netztransformator läßt sich ein handelsüblicher Heiztransformator verwenden, der eine Sekundärspannung von minimal 12,6 V liefert. Dabei hat man allerdings keine Sicherheit gegen Netzunterspannung. Man sollte daher, wenn irgend möglich, die Sekundärwicklung um 15 bis 20 Wdg. erhöhen, so daß man etwa 15 V Effektivspannung erhält.

Schaltungsbeschreibung

Die transformierte Netzspannung wird durch einen Graetz-Gleichrichter mit 4 Siliziumdioden gleichgerichtet. Für den Betriebsstrom von 1 A können diese noch freitragend eingesetzt werden, während Germaniumgleichrichter für 1 A dann schon isoliert auf einer Kühlfläche montiert sein müßten. Als Serienregler für die Ausgangsspannung arbeitet T3. Für ihn ist ein 15-W-Typ erforderlich, den man zur Wärmeableitung auf einem entsprechenden Kühlblech befestigt. T3 wird von Transistor T2 angesteuert. Die Widerstände R1 und R2 haben die gleiche Funktion wie R2 und R3 in Schaltung Bild 28. R3 dient der Reststromableitung. Am Emitter von T3, d. h. an der

Ausgangsklemme, stellt man über R4 den Arbeitsstrom der als Konstanthaltungsquelle dienenden Z-Diode SZX 18 8,2 ein.
Zum genauen Einstellen der Ausgangsspannung wurde der Widerstand R6 als Einstellpotentiometer ausgeführt. C3 verringert den dynamischen Innenwiderstand der Schaltung. Soll der Netzteil als Stromversorgung eines bestimmten Verbrauchers benutzt werden, so ist dieser Kondensator vorteilhaft an der Stelle des größten Stromflusses anzuschließen. Die eingesetzte Z-Diode hat günstige Werte bezüglich der Temperaturabhängigkeit sowie des dynamischen Widerstands.
Die Schaltung enthält neben der Regeleinrichtung zur Spannungskonstanthaltung und den Siebelementen eine (bei Bedarf mit einzubauende) Strombegrenzung, die bei Überlast anspricht und mit den komplementären Transistoren T4 und T5 arbeitet. Es handelt sich um eine Kippschaltung, die bei einem bestimmten Spannungsabfall am Widerstand R8 in Funktion tritt. Diese Schwellspannung wird erreicht, sobald der durch den Widerstand fließende Laststrom auf den der Einstellung entsprechenden Wert angestiegen ist. Nach dem Umkippen der Schaltung sind über die Siliziumdiode D2 die Regeltransistoren T2 und T3 gesperrt. Dadurch wird der durch den Serientransistor fließende Strom begrenzt. In einigen Fällen, bei denen durch Exemplarstreuungen die Schaltspannungen nicht zur einwandfreien Sperrung der Transistoren ausreichen, empfiehlt es sich, vor dem Widerstand R8 eine zusätzliche Sicherung einzubauen, die bei lang andauernden Kurzschlüssen anspricht und damit eine thermische Überlastung des Leistungstransistors verhindert. Danach ist das Gerät vom Netz zu trennen und zur Inbetriebnahme nach kurzer Zeit wieder einzuschalten; der Betriebszustand stellt sich nach der Beseitigung der Überlast an den Ausgangsklemmen nicht von selbst wieder ein!
Die Ansprechspannung für die elektronische Abschaltung, d. h. die Einstellung des Arbeitspunkts der Kippstufe für 1 A Laststrom, ist am Trimmpotentiometer R9 vorzunehmen. Wird für den npn-Transistor der Schaltstufe ein Siliziumtyp mit hoher Stromverstärkung eingesetzt, dann muß man darauf achten, daß der komplementäre pnp-(Germanium-)Transistor einen sehr kleinen Reststrom ($< 20\ \mu$A) hat, da sonst der Siliziumtransistor bereits durch diesen Strom durchgesteuert werden kann. Vorteilhafter ist deshalb der Einsatz eines Silizium-pnp-Transistors, etwa des alten Typs SC 103.
Als Netztransformator kann ein handelsüblicher Heiztransformator eingesetzt werden, der bei einer Ausgangsspannung von 12,6 V einen Strom von etwa 2 A abgibt (obige Bemerkung beachten!). Wird er selbst angefertigt, so gelten folgende Wickeldaten:

Kerngröße	M65; Dynamoblech IV ohne Luftspalt; wechselseitig geschichtet
Grundisolation	2 Lagen Lackgewebe 0,1 – Primärwickl. 1550 Wdg., 0,18-mm-CuL
Lagenisolation	1 Lage Lackpapier 0,04
Zwischenisolation	2 Lagen Lackgewebe 0,1 – Sekundärwickl. 110 Wdg., 0,7-mm-CuL
Deckisolation	Lackgewebe 0,1, 2 Lagen

Aufbauhinweise sind in Bild 34 (Leiterplatte), Bild 35 (Bestückungsplan) und Bild 36 (Foto) gegeben.

7. Bezugsquellen

Bastler, die nicht in der Nähe entsprechender Einzelteilgeschäfte wohnen, greifen zur Bestellkarte und wenden sich an eines der bekannten Versandhäuser.

1058 Berlin, Kastanienallee 87
Telefon 44 66 13

501 Erfurt, Hermann-Jahn-Straße 11/12
Telefon 22 105

1034 Berlin, Warschauer Straße 71
Telefon 58 23 90

15 Potsdam, Fr.-Ebert-Straße 113
Telefon 22 833

27 Schwerin, Martinstraße 1
Telefon 39 71

3018 Magdeburg, Lübecker Straße 118
Telefon 50 107

402 Halle, Große Steinstraße 58
Telefon 25 705

58 Gotha, Hauptmarkt 32
Telefon 28 43

701 Leipzig, Grimmaische Straße 25
Telefon 24 825

75 Cottbus, Markstraße 2
Telefon 51 81

801 Dresden, Thälmannstraße 6

901 Karl-Marx-Stadt, Straße der Nationen
Telefon 41 691

92 Freiberg, Korngasse 10

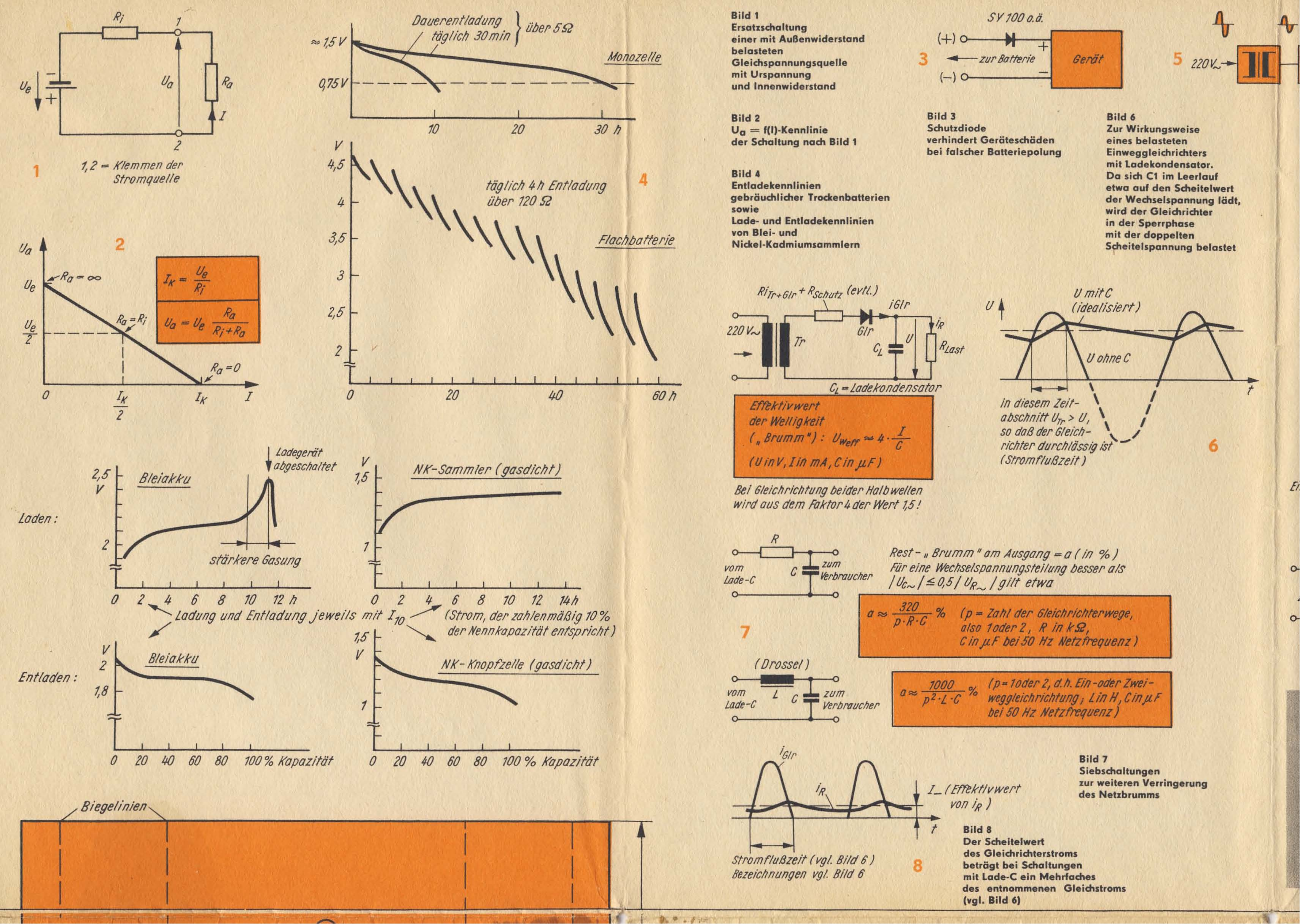


Bild 1
Ersatzschaltung einer mit Außenwiderstand belasteten Gleichspannungsquelle mit Urspannung und Innenwiderstand

Bild 2
$U_a = f(I)$-Kennlinie der Schaltung nach Bild 1

Bild 3
Schutzdiode verhindert Geräteschäden bei falscher Batteriepolung

Bild 4
Entladekennlinien gebräuchlicher Trockenbatterien sowie Lade- und Entladekennlinien von Blei- und Nickel-Kadmiumsammlern

Bild 6
Zur Wirkungsweise eines belasteten Einweggleichrichters mit Ladekondensator. Da sich C1 im Leerlauf etwa auf den Scheitelwert der Wechselspannung lädt, wird der Gleichrichter in der Sperrphase mit der doppelten Scheitelspannung belastet

Bild 7
Siebschaltungen zur weiteren Verringerung des Netzbrumms

Bild 8
Der Scheitelwert des Gleichrichterstroms beträgt bei Schaltungen mit Lade-C ein Mehrfaches des entnommenen Gleichstroms (vgl. Bild 6)

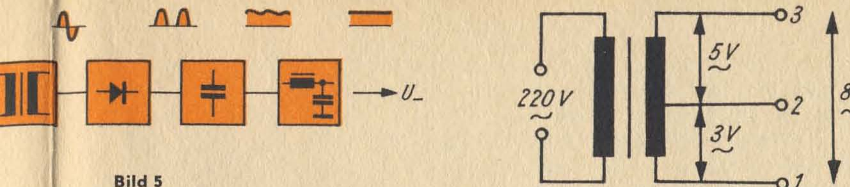


Bild 5
Teile eines ungeregelten Gleichstromnetzgeräts. Das Oszillogramm am Gleichrichter gilt für den Fall, daß die folgenden Stufen noch fehlen. Die Welligkeit am Kondensator ist lastabhängig und darf einen typenabhängigen Wert nicht überschreiten, damit der Kondensator nicht thermisch zerstört wird

5

4 x SY 100 o. ä.

C_{ges} 1000 ... 1500 µF 15 V

$- U_a$

$+$

4

Die Gleichrichterschaltung erhält 3 V~ bei 1-4, 2-5,
5 V~ bei 2-4, 3-5,
8 V~ bei 1-4, 3-5

11

Bild 11
Ungeregelte Gleichspannungsquelle mit Klingeltransformator

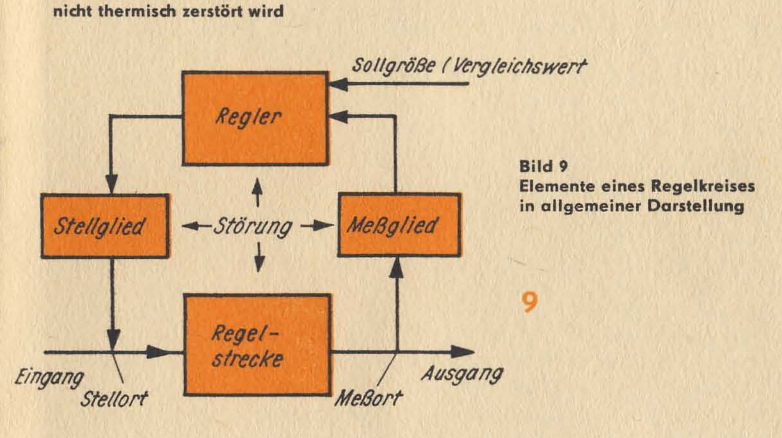


Bild 9
Elemente eines Regelkreises in allgemeiner Darstellung

9

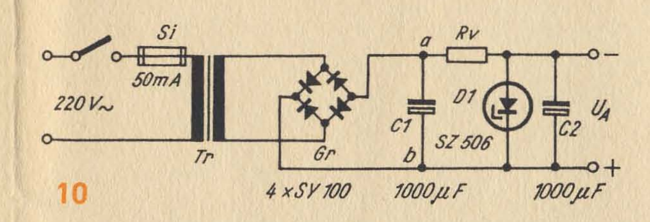
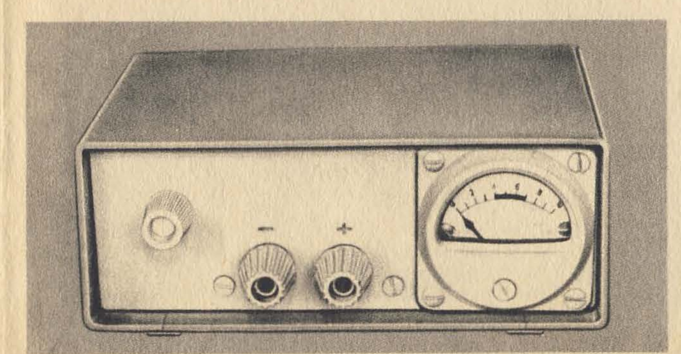


Bild 10
Schaltung des Z-Dioden-Kleinnetzteils für Taschenempfänger



17

Bild 17
Außenansicht des Netzgeräts nach Bild 14
Frontplatte und Instrument wurden mit Autolack aus der Spraydose hellgrau lackiert (VEB Aerosol Automat)

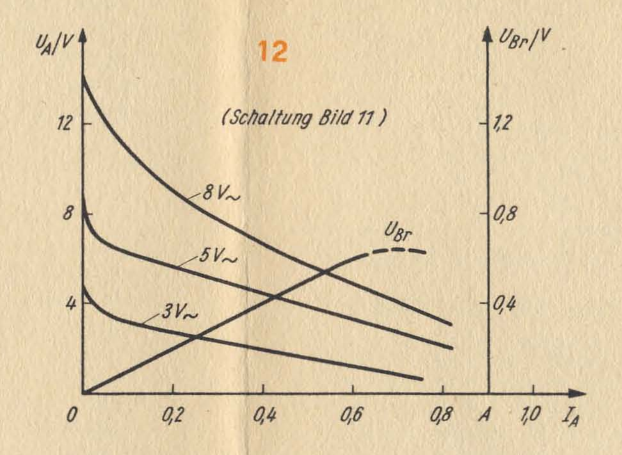


Bild 12
Ausgangsspannung und Effektivwert der Brummspannung in Abhängigkeit vom Laststrom für die Schaltung nach Bild 11

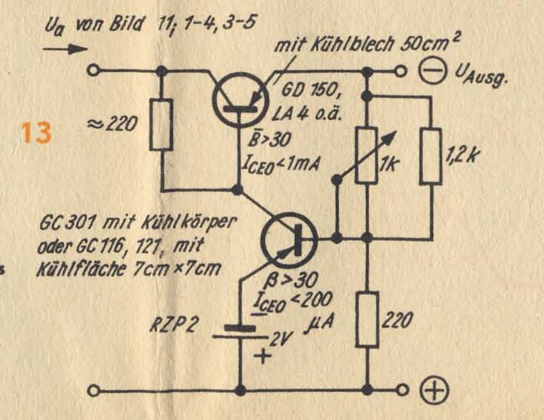


Bild 13
Einfacher einstellbarer Regelnetzteil mit nur 2 Transistoren und 2-V-Bleiakku als Vergleichsspannungsquelle; einstellbar zwischen etwa 2,4 und 8,4 V

Aufstellung der Bauelemente

Zu Bild 11

Gr 4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100
C1 Elektrolytkondensator 1000 µF/15 V (TGL 7198)
C2 Elektrolytkondensator 1000 µF/15 V (TGL 7198)
R_V Widerstand 3 Ω/1 W
D1 Z-Diode SZ 506

Zu Bild 14

Ü1 Klingeltransformator 8 V/0,5 A (z. B. KTO 3, VEB ELMET)
Gr1 bis Gr4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100 o. ä.
C1 Elektrolytkondensator 500 µF/15 V (TGL 7198 oder 10586)
C2 Elektrolytkondensator 1000 µF/15 V (TGL 10586; liegend montiert)
C3 Elektrolytkondensator 100 µF/15 V (TGL 7198)
C4 Papierkondensator 0,1 µF/160 V
R1 Schichtwiderstand 6,8 kΩ/0,125 W
R2 Schichtwiderstand 1,8 kΩ/0,125 W
R3 Schichtwiderstand 6,8 kΩ/0,125 W
R4 Schichtwiderstand 220 Ω/0,125 W
R5 Schichtdrehwiderstand 1 kΩ lin., Gr 2 oder 3 (TGL 9100)
R6 Schichtwiderstand 1,2 kΩ/0,125 W
T1 Transistor GC 116 o. ä., β > 30
T2 Transistor GC 301 mit Kühlkörper, β > 30
T3 Transistor GD 150, LA 4 o. ä., $\bar{B}$ > 20, mit Kühlblech 50 cm²
2-V-Kleinakku RZP 2

Zu Bild 21, 22 und 23

Gr 4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100
C1 Elektrolytkondensator 1000 µF/15 V (TGL 7198)
C2 Elektrolytkondensator 500 µF/25 V (TGL 7198)
C3 Elektrolytkondensator 500 µF/10 V (TGL 7198)
D1 Z-Diode SZ 506
R1 Schichtwiderstand 47 Ω/0,5 W
R2 Schichtwiderstand 20 Ω/0,5 W
R3 Schichtdrehwiderstand 100 Ω lin., Gr. 3 (TGL 9100)
R4 Schichtdrehwiderstand 50 Ω lin., Gr. 3 (TGL 9100)
R5 Schichtwiderstand 150 Ω/0,125 W
T1 Transistor GD 150, $\bar{B}$ > 50

Zu Bild 28

Gr 4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100
C1 Elektrolytkondensator 1000 µF/25 V (TGL 10 586)
C2 Elektrolytkondensator 1000 µF/25 V (TGL 10 586)
C3 Elektrolytkondensator 500 µF/25 V (TGL 7198)
C4 Elektrolytkondensator 500 µF/25 V (TGL 7198)
R2 Schichtwiderstand 1,6 kΩ/0,125 W
R3 Schichtwiderstand 1,6 kΩ/0,125 W
R4 Schichtwiderstand 100 Ω/0,125 W
R5 Schichtwiderstand 1 kΩ/0,125 W
R6 Drahtwiderstand 1 Ω
R7 Schichtdrehwiderstand 500 Ω, Nenngröße 1, Form P (TGL 11 886)
R8 Schichtwiderstand 470 Ω/0,125 W
R9 Schichtwiderstand 1,5 kΩ/0,125 W
D1 Z-Diode SZX 18/5,6
D2 Z-Diode SZX 18/1
T1 Transistor GC 116, β > 100
T2 Transistor GC 301, β > 50
T3 Transistor GD 150, $\bar{B}$ > 50

Zu Bild 33

Gr 4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100
C1 Elektrolytkondensator 2000 µF/25 V (TGL 5151)
C2 Elektrolytkondensator 100 µF/25 V (TGL 10 586; liegend montiert)
C3 Elektrolytkondensator 500 µF/25 V (TGL 7198)
C4 Keramikkondensator 100 pF
R1 Schichtwiderstand 560 Ω/0,125 W
R2 Schichtwiderstand 560 Ω/0,125 W
R3 Schichtwiderstand 1 kΩ/0,125 W
R4 Schichtwiderstand 2,2 kΩ 0,125 W
R5 Schichtwiderstand 470 Ω/0,125 W
R6 Schichtdrehwiderstand 500 Ω, Nenngröße 1, Form P (TGL 11 886)
R7 Schichtwiderstand 1,5 kΩ/0,125 W
R8 Drahtwiderstand 1 Ω
R9 Schichtdrehwiderstand 100 Ω, Nenngröße 1, Form P (TGL 11 886)
R10 Schichtwiderstand 100 Ω/0,125 W

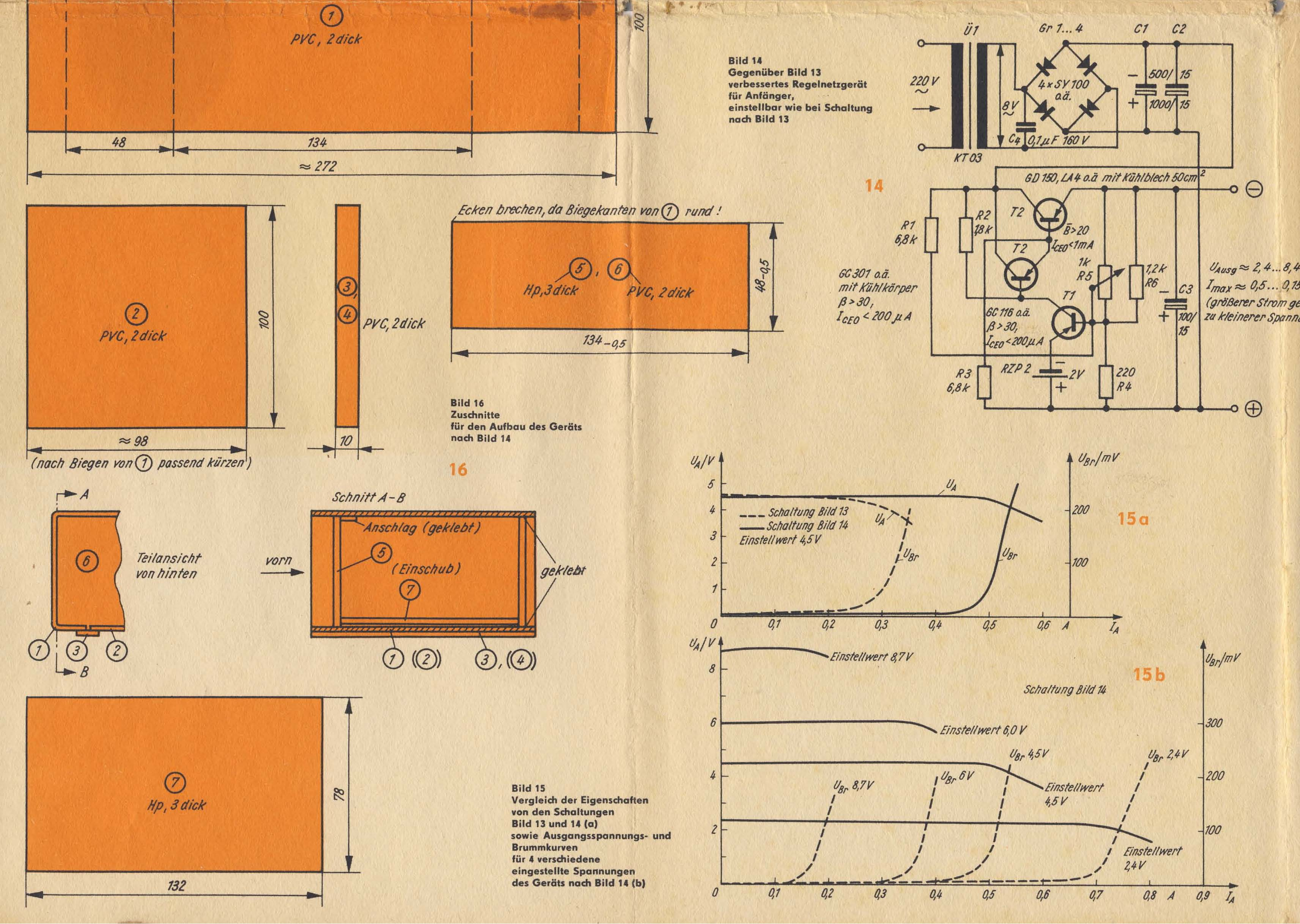


Bild 14
Gegenüber Bild 13 verbessertes Regelnetzgerät für Anfänger, einstellbar wie bei Schaltung nach Bild 13

Bild 16
Zuschnitte für den Aufbau des Geräts nach Bild 14

Bild 15
Vergleich der Eigenschaften von den Schaltungen Bild 13 und 14 (a) sowie Ausgangsspannungs- und Brummkurven für 4 verschiedene eingestellte Spannungen des Geräts nach Bild 14 (b)

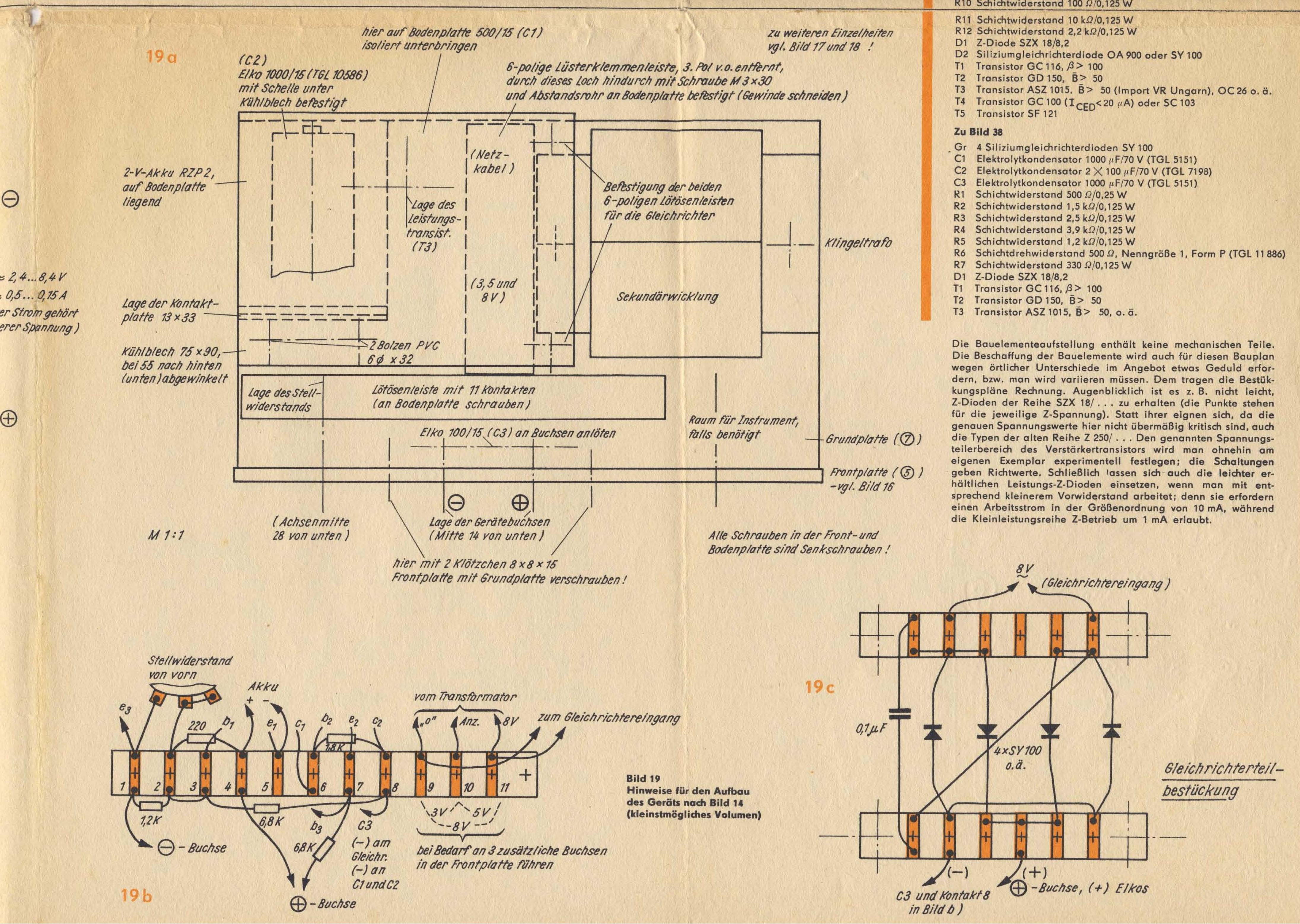


Bild 19
Hinweise für den Aufbau des Geräts nach Bild 14 (kleinstmögliches Volumen)

R10 Schichtwiderstand 100 Ω/0,125 W
R11 Schichtwiderstand 10 kΩ/0,125 W
R12 Schichtwiderstand 2,2 kΩ/0,125 W
D1 Z-Diode SZX 18/8,2
D2 Siliziumgleichrichterdiode OA 900 oder SY 100
T1 Transistor GC 116, $\beta > 100$
T2 Transistor GD 150, $\bar{B} > 50$
T3 Transistor ASZ 1015. $\bar{B} > 50$ (Import VR Ungarn), OC 26 o. ä.
T4 Transistor GC 100 ($I_{CED} < 20\ \mu A$) oder SC 103
T5 Transistor SF 121

Zu Bild 38

Gr 4 Siliziumgleichrichterdioden SY 100
C1 Elektrolytkondensator 1000 µF/70 V (TGL 5151)
C2 Elektrolytkondensator 2 × 100 µF/70 V (TGL 7198)
C3 Elektrolytkondensator 1000 µF/70 V (TGL 5151)
R1 Schichtwiderstand 500 Ω/0,25 W
R2 Schichtwiderstand 1,5 kΩ/0,125 W
R3 Schichtwiderstand 2,5 kΩ/0,125 W
R4 Schichtwiderstand 3,9 kΩ/0,125 W
R5 Schichtwiderstand 1,2 kΩ/0,125 W
R6 Schichtdrehwiderstand 500 Ω, Nenngröße 1, Form P (TGL 11 886)
R7 Schichtwiderstand 330 Ω/0,125 W
D1 Z-Diode SZX 18/8,2
T1 Transistor GC 116, $\beta > 100$
T2 Transistor GD 150, $\bar{B} > 50$
T3 Transistor ASZ 1015, $\bar{B} > 50$, o. ä.

Die Bauelementeaufstellung enthält keine mechanischen Teile. Die Beschaffung der Bauelemente wird auch für diesen Bauplan wegen örtlicher Unterschiede im Angebot etwas Geduld erfordern, bzw. man wird variieren müssen. Dem tragen die Bestükkungspläne Rechnung. Augenblicklich ist es z. B. nicht leicht, Z-Dioden der Reihe SZX 18/ . . . zu erhalten (die Punkte stehen für die jeweilige Z-Spannung). Statt ihrer eignen sich, da die genauen Spannungswerte hier nicht übermäßig kritisch sind, auch die Typen der alten Reihe Z 250/ . . . Den genannten Spannungsteilerbereich des Verstärkertransistors wird man ohnehin am eigenen Exemplar experimentell festlegen; die Schaltungen geben Richtwerte. Schließlich lassen sich auch die leichter erhältlichen Leistungs-Z-Dioden einsetzen, wenn man mit entsprechend kleinerem Vorwiderstand arbeitet; denn sie erfordern einen Arbeitsstrom in der Größenordnung von 10 mA, während die Kleinleistungsreihe Z-Betrieb um 1 mA erlaubt.

8. Ergänzende Hinweise

Dieser Bauplan bietet eine gerade noch zulässige Fülle an Stoff, so daß allgemeine Aufbauhinweise etwas zu kurz kommen mußten.
Zunächst sei noch einmal dringend darauf hingewiesen, daß die Baugruppen, bei denen Netzspannung führende Teile zugänglich sind, nur innerhalb von Geräten in isolierendem oder schutzgeerdetem Gehäuse betrieben werden dürfen, die nach den Sicherungsvorschriften aufgebaut wurden. Bild 24 und 25 sowie Bild 29 und 30 sind daher nur für bereits entsprechend vorgebildete Amateure gedacht. Bild 26 enthält zusätzlich einige Hinweise, wie man innerhalb der Baugruppe selbst das Problem des Netzanschlusses (in Verbindung mit den genannten Geräten) lösen kann. Einige dieser Vorschläge gehen davon aus, daß die Netzsicherung Teil der Baugruppe ist, die übrigen erfordern in einem anderen Teil des Geräts einen Sicherungshalter, am besten in einschraubbarer isolierter Ausführung. Netzspannung führende Leitungen und Punkte müssen einen Sicherheitsabstand von den der Berührung zugänglichen Kreisen (also z. B. von der Transistorschaltung) aufweisen. Dieser Abstand hat ein Mehrfaches dessen zu betragen, was diese Strecke tatsächlich an Spannung aushält. Damit wird den Gefahren von Verschmutzung und Feuchte entgegengewirkt. Auch für das mit Gehäuse beschriebene Labornetzgerät gelten diese Regeln. Sie sind dort insofern befolgt, als die (zusätzlich mit Isolierschlauch überzogenen) Netzanschlußleitungen an eine Lüsterklemmenleiste geführt wurden, so, wie das auch im Originalgehäuse des Klingeltrafos der Fall war. Dem Anfänger wird dringend empfohlen, diesen Teil des Aufbaus mit Hilfe eines erfahrenen Freundes vorzunehmen bzw. im Gehäuse nur bis zum Anschluß „8 V" zu bauen. In diesem Fall bleibt der Klingeltrafo in seinem Originalgehäuse und wird auch so an die mit Netzstecker versehene Schnur angeschlossen. In einem etwas größeren Gesamtgehäuse (im übrigen nach Bild 16 bis Bild 19 aufgebaut) kann er auch dann im Gerät untergebracht werden.
Schließlich noch ein Hinweis: Geräte, in denen eine Netzanschlußschnur endet, sind entsprechend zu kennzeichnen, vor dem Öffnen ist der Netzstecker zu ziehen!
Wichtig erscheint es außerdem, auf zwei weitere Tatsachen aufmerksam zu machen: Transistorstromversorgungsschaltungen sind bezüglich der Belastbarkeit der Bauelemente meist „voll ausgefahren". Ein Schutz gegen Kurzschlüsse muß daher noch lange nicht bedeuten, daß die Schaltung nun absolut sicher ist. Zwischen dem Ansprechwert (Kurzschluß) und den zulässigen Grenzdaten der Quelle kann noch ein Bereich liegen, in dem der Netzteil überlastet wird und schließlich ausfällt, ohne daß die Kurzschlußschaltung angesprochen hat. Man halte daher stets die zulässigen Lastwerte ein.
Das zweite Problem liegt in der Temperaturabhängigkeit von Halbleiterschaltungen. Hochwertige Industriegeräte benötigen zum Beseitigen dieses Effekts teilweise hohen Aufwand. Der Netzteil ist besonders beim Einbau in geschlossene Geräte mit großer Eigenwärme gefährdet. Der Amateur, der einen derartigen Aufwand möglichst meidet, achte daher auf diesen Umstand und ordne seinen Netzteil immer an der kühlsten Stelle des Gesamtgeräts an. Für ausreichende Belüftung müssen Schlitze im Gehäuse o. ä. sorgen. Im übrigen wird er im Normalfall sicher nur unter „Zimmerbedingungen" arbeiten, so daß die Außentemperatur unter 35 °C liegen dürfte.
Zum Schluß einige Worte zu den Leiterplatten. Ihre Herstellung ist heute allgemein bekannt. Sie wird erleichtert durch einen im Handel erhältlichen Ätzsatz. Der in ihm enthaltene Decklack wird zum Zeichnen der Leiterflächen auf der mit ATA gesäuberten Kupferfolie verwendet. Vorher körnt man vorsichtig durch die entsprechende 1:1-Leiterzeichnung dieses Bauplans alle Bohrungen an und bohrt sie. Die Leiterzüge deutet man zunächst nur an (z. B. durch Bleistiftstriche); Plattenoberfläche möglichst nicht mehr anfassen, Fettspuren behindern Zeichnen und Ätzen! Bereits mit einer einfachen 1-mm-Redisfeder (größere Flächen mit breiterer Feder) gelingt ein sauberes Muster. Von dem im Ätzsatz enthaltenen Ammoniumpersulfat löst man auf 250 cm³ Wasser einen großen Eßlöffel voll. Die Lösung kann bis auf etwa 40 °C erwärmt werden, was den Vorgang beschleunigt. Je nach Temperatur ist die in die Lösung gelegte Platte nach 1 h bis 3 h geätzt. Man löst dann die Farbe mit dem ebenfalls zum Ätzsatz gehörenden Lösungsmittel wieder ab (ATA tut es auch), trocknet die in Wasser gespülte Platte mit einem Tuch ab und bestreicht sie dünn mit Kolophonium-Spiritus-Lösung. Nach dem Trocknen kann bestückt und gelötet werden. Bezugsquelle des Ätzsatzes: Radio-Versand, 36 Halberstadt, Dominikanerstraße.

9. Literatur

Stromversorgungseinheiten findet man heute überall in der Elektronikliteratur beschrieben. Die Grundlage zum Verständnis von Transistorschaltungen, zu denen ja die Regelteile gehören, vermittelt dem Amateur nach wie vor die in 4. Auflage erschienene „Transistortechnik für den Funkamateur" von H.-J. Fischer. Auf Stromversorgungseinheiten geht auch „Das große Elektronikbastelbuch" von H. Jakubaschk ein. Die im Bauplan beschriebenen Geräte und Baugruppen wurden u. a. nach Hinweisen in den Zeitschriften „radio und fernsehen" (H. 3/67 und 4/67), „Funktechnik" (H. 6/68 und 14/65) und „ATM" 383 (1967) Z40–7 sowie nach „Siemens-Halbleiterbeispielen 1968" und „Telefunken-Laborbuch, Bd. 3" gestaltet. Das Labornetzgerät schließlich geht zurück auf einen Vorschlag von K. Schlenzig in der Zeitschrift „technikus" (H. 7 und 8/68), während über Akkumulatoren in der Elektronik in der gleichen Zeitschrift, H. 8/67, Wissenswertes zu finden ist. Die Reihe „Der praktische Funkamateur" des Deutschen Militärverlags bietet zum Thema einige Broschüren, so die von D. Franz über chemische Stromquellen (79) und von K. Streng über Stromversorgungsteile für den Amateur (49). Diese Aufzählung könnte fortgesetzt werden; man sollte einschlägige Fachzeitschriften in dieser Hinsicht verfolgen.

Tabelle 1 International erreichte Daten, Bezeichnungen und Einsatzgebiete von Trockenbatterien

Tabelle 1

Bezeichnung	U V	nach IEC	Masse g	I_K A	Kapazität Ah (Richtwert)	empfohlene maximale Belastung mA	Anwendung
Gnomzelle EAaT	1,5	R6	18	2	1,4	40	Transistorgeräte
Monozelle EJT	1,5	R20	95	6	5	300	Taschenlampen
Apparate-Monozelle EJT	1,5	R20	105	20	7,5	3000	Transistorgeräte, Blitzgeräte, Motoren
Flachbatterie BDT	4,5	3R12	120	4	1,2	300	Taschenlampen
Transistor-Batterie BDT	4,5	3R12	120	5	1,8	400	Transistorgeräte

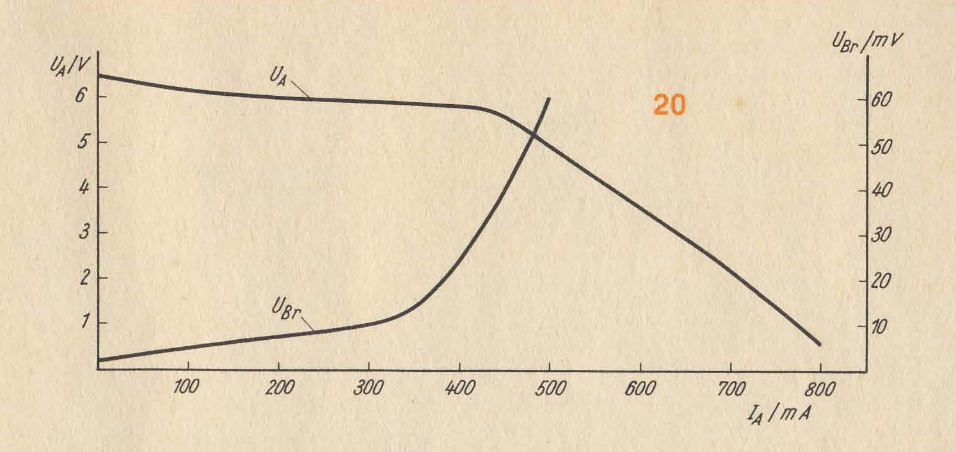


Bild 20
Belastungskennlinie und Brummspannungsverlauf des Netzteils nach Bild 21 (Abschn. 6.3.)

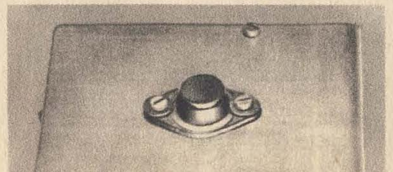


Bild 21
Schaltung des mit Zenerdiode stabilisierten Netzteils mit Siebtransistor nach 6.3.

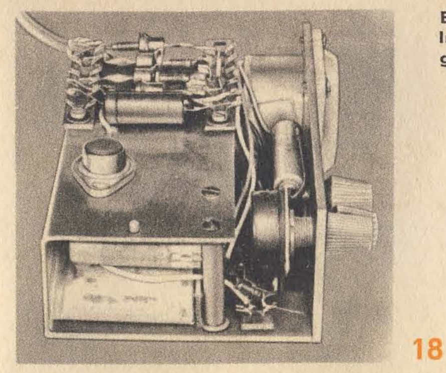


Bild 18
Innenansicht des einstellbaren geregelten Labornetzgeräts

18

$\odot$ = Ø 3,2 (Bohrung)

$\circledcirc$ = Gewindebohrung, max. M3

(•) = Anschluß in Massefläche
(freigeätzte Trennlinien erleichtern Löten)

Bild 24
Leitungsmuster für die Schaltung nach Bild 21

Bild 25
Bestückungsplan für Schaltung Bild 22 (vgl. Bild 21)

T1 GD 150
R2 20
R3 100
C2 500 µF

22

Bild 22
Variation der Schaltung nach Bild 21 ohne Z-Diode

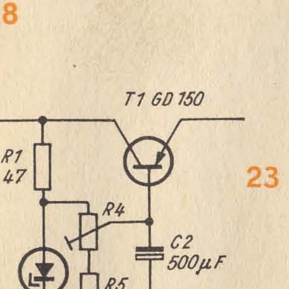


Bild 23
Variation der Schaltung nach Bild 21 für einstellbare Ausgangsspannung

M 1:1

24

25

C
R1
b
C3
e
D1
Gr 1...4
C1
C2
zur Klemmleiste
Abstand halten! (>8 mm)
Si
für Netzanschluß isolierte Primärleitung

Anschluß der Trafoprimärseite: vgl. Bild 26; Si 1 in dieser Art oder analog Text zu Bild 26 gestalten!

[] = Steck-lötöse

an Trafo Isolierfolie ankleben (z.B. Hp 0,5 dick)

Bauelemente in allen Bildern nur „stilisiert" dargestellt

gilt für alle Leiterplatten:
Massefläche
freigeätzt
Leitungszug
1,3-mm-Bohrung im 2,5-mm-Raster

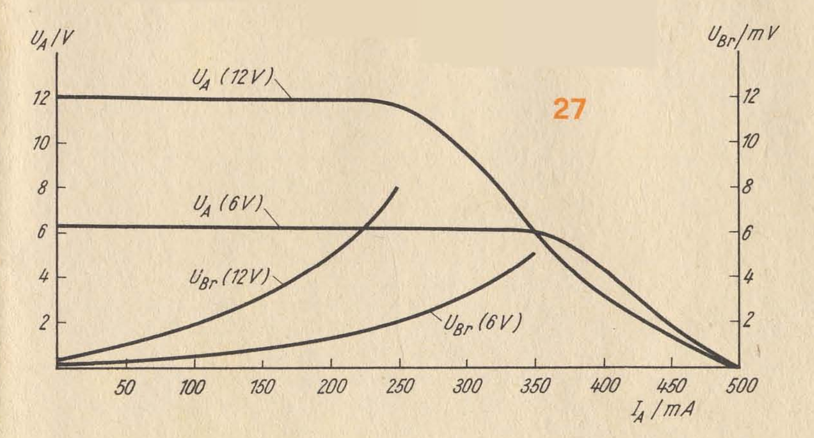


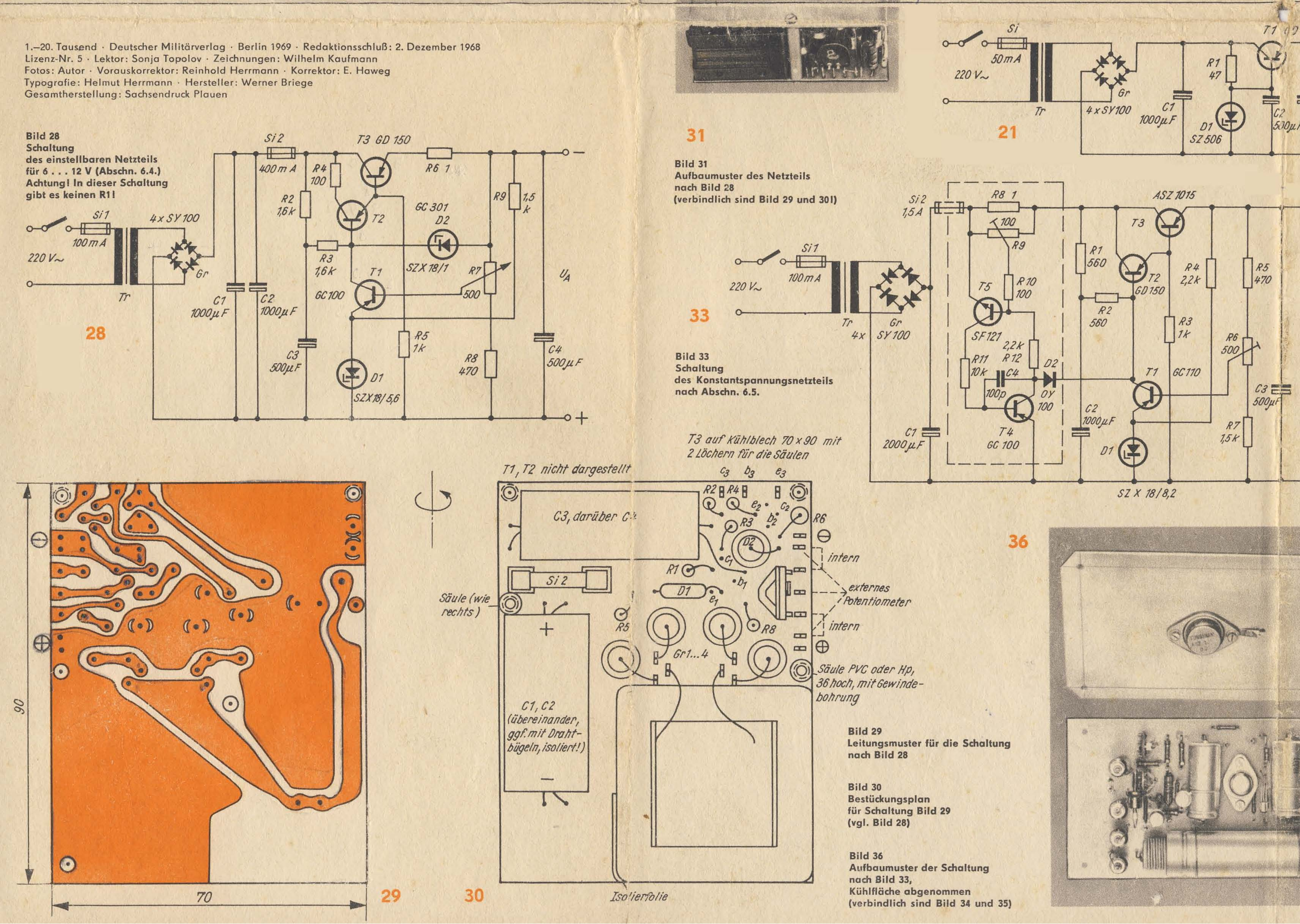
Bild 27
Belastungskurven und Brummspannungsverlauf für die einstellbare Stromversorgungseinheit nach Bild 28 (Abschn. 6.4.)

32

U_A/V
U_{Br}/mV
12 10 8 6 4 2
3 2 1
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
I_A/mA

Bild 32
Belastungskurven und Brummspannungsverlauf für Konstantspannungsnetzteil 12 V (Abschn. 6.5.) nach Bild 33

Befestigen (Nieten oder Schrauben)
Befestigungswinkel
Kühlblech
Lüsterklemmenleiste
Elkos
Isolierfolie
Trafo
Leiterplatte
a)
(evtl.)
zum Trafo



1.–20. Tausend · Deutscher Militärverlag · Berlin 1969 · Redaktionsschluß: 2. Dezember 1968
Lizenz-Nr. 5 · Lektor: Sonja Topolov · Zeichnungen: Wilhelm Kaufmann
Fotos: Autor · Vorauskorrektor: Reinhold Herrmann · Korrektor: E. Haweg
Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung: Sachsendruck Plauen

Bild 28
Schaltung des einstellbaren Netzteils für 6 . . . 12 V (Abschn. 6.4.)
Achtung! In dieser Schaltung gibt es keinen R1!

Bild 31
Aufbaumuster des Netzteils nach Bild 28 (verbindlich sind Bild 29 und 30!)

Bild 33
Schaltung des Konstantspannungsnetzteils nach Abschn. 6.5.

Bild 29
Leitungsmuster für die Schaltung nach Bild 28

Bild 30
Bestückungsplan für Schaltung Bild 29 (vgl. Bild 28)

Bild 36
Aufbaumuster der Schaltung nach Bild 33, Kühlfläche abgenommen (verbindlich sind Bild 34 und 35)

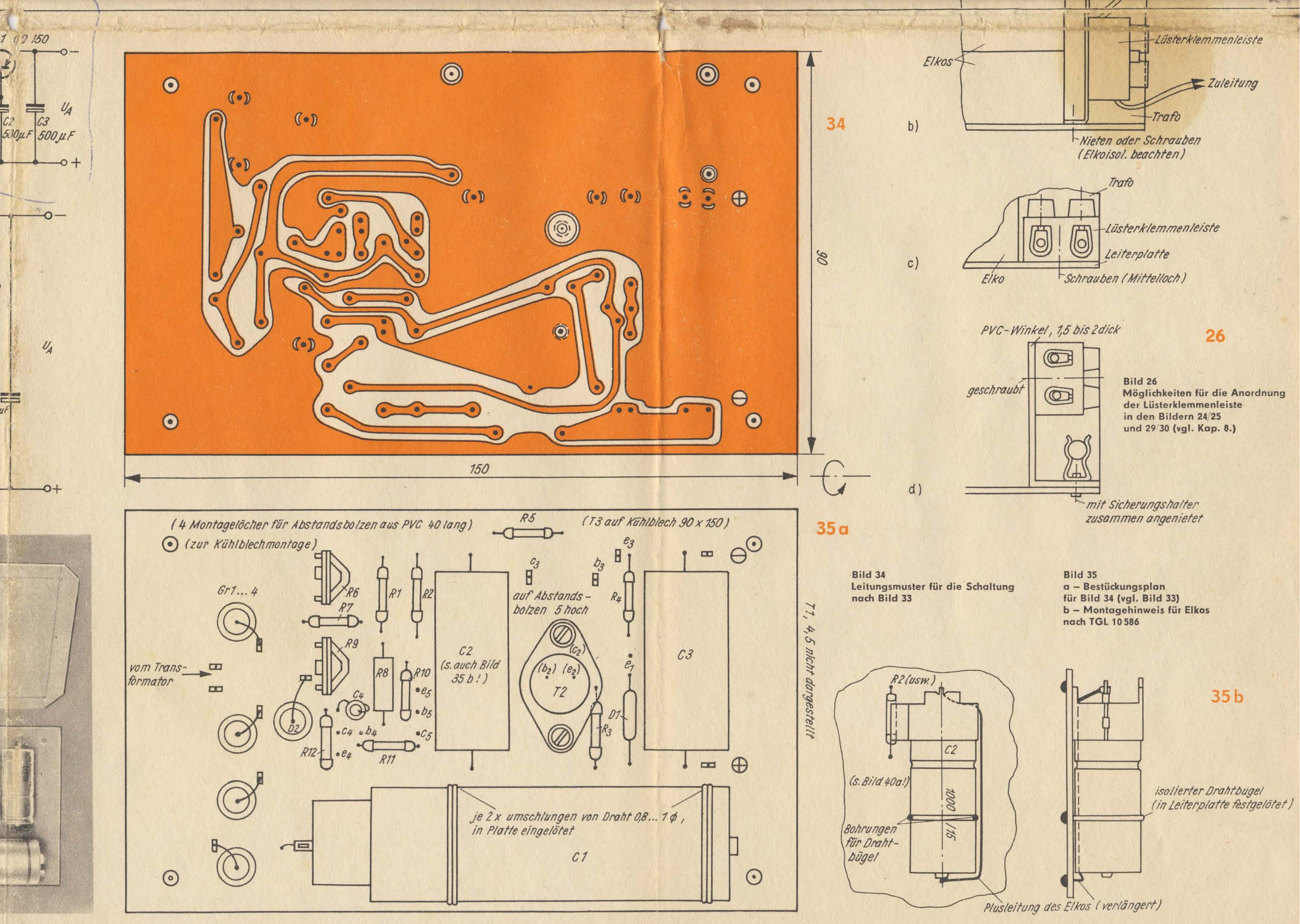


Bild 26
Möglichkeiten für die Anordnung der Lüsterklemmenleiste in den Bildern 24/25 und 29/30 (vgl. Kap. 8.)

Bild 34
Leitungsmuster für die Schaltung nach Bild 33

Bild 35
a – Bestückungsplan für Bild 34 (vgl. Bild 33)
b – Montagehinweis für Elkos nach TGL 10 586